



# **INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ**

## **MESTRADO EM TÉCNICAS LABORATORIAIS EM CIÊNCIAS FORENSES**

### **ANÁLISE DE METAIS NOBRES MARCADOS COM TÉCNICA DE DISPERSÃO DE PARTÍCULAS DE DIAMANTE (UNIQUEMARK ®)**

Trabalho submetido por  
**Zenaide Kroeger**  
para a obtenção do grau de Mestre em Tecnologias Laboratoriais em  
Ciências Forenses

**novembro de 2020**





**INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ**

**MESTRADO EM TECNOLOGIAS LABORATORIAIS EM  
CIÊNCIAS FORENSES**

**ANÁLISE DE METAIS NOBRES MARCADOS COM TÉCNICA DE  
DISPERSÃO DE PARTÍCULAS DE DIAMANTE (UNIQUEMARK ®)**

Trabalho submetido por  
**Zenaide Kroeger**  
para a obtenção do grau de Mestre em Tecnologias Laboratoriais em  
Ciências Forenses

Trabalho orientado por  
**Professor Doutor Nuno Miguel Mendonça da Silva Gonçalves**

e coorientado por  
**Doutora Catarina Isabel Bernardes Sousa e Mestre Joana Morais Couceiro da  
Costa**

**novembro de 2020**



## **Agradecimentos**

Ao meu orientador científico, o Professor Doutor Nuno Gonçalves, pela disponibilidade, paciência, partilha de conhecimentos e principalmente pelo apoio incondicional durante este percurso. À INCM devo meus sinceros agradecimentos, pela oportunidade e pela viabilização deste mestrado. À Eng. Catarina Sanches devo a minha gratidão, por toda a disponibilidade para ajudar em todas as questões relacionadas internamente com a INCM, à Eng. Daniela Vaz pela compreensão e ajuda com os equipamentos utilizados na INCM, ao meu colega de trabalho Nuno Ferreira agradeço por ter me ouvido e me levado até à pessoa que viabilizou o meu trabalho, que agora é meu orientador. Às minhas coorientadoras científicas, Prof. Doutora Catarina Bernardes, pela simpatia, otimismo e pela ajuda imprescindível com a microscopia, parte de suma importância para o trabalho, à Professora Joana Couceiro pela ajuda e incentivo que precisei em várias ocasiões. Ao Professor Alves de Matos pela cedência do microscópio eletrónico de varrimento e pela disponibilidade para ajudar com as dificuldades que surgiram ao longo deste ano. Ao investigador Andoni Santos do Instituto de Sistemas e Robótica da Universidade de Coimbra, pela ajuda no tratamento das imagens.

Às minhas amigas Iliana Serrão e Felícia Cristina, por estarem sempre presentes, pelo companheirismo e carinho com que me presenteiam todos os dias. À minha amiga Rosário Quintas e ao meu amigo Levi Merlo pelo apoio e partilha de conhecimentos.

Ao meu filho Matheus Henrique, ao meu marido Rui Barbosa e à minha “filha emprestada” Fabíola Barbosa pelo apoio, paciência, por estarem sempre presentes e principalmente por me aturarem durante estes dois anos em que estive quase ausente da vida familiar. À minha irmã Isolde Kroeger, por ser minha fonte de inspiração, minha conselheira e meu apoio para todas as horas.

A todos que de alguma maneira contribuíram para a realização deste mestrado, seja com conselhos, apoio, partilha de conhecimentos ou por apenas ouvirem, seja minhas lamúrias em tempos menos bons, ou meu entusiasmo por vezes excessivo, o meu muito obrigada.



## **Resumo**

Há mais de 600 anos que a marcação de peças em ouro e prata é utilizada em Portugal para que se possa distinguir as suas origens e a sua autenticidade em caso de roubos e falsificações e ainda hoje é uma técnica recorrente, entretanto, com poucas inovações feitas desde a sua génese.

Este foi um desafio para a equipa de pesquisadores e cientistas da Imprensa Nacional Casa da Moeda (INCM) que inovaram este método com uma moderna técnica de dispersão caótica de partículas de diamante sob o punção tradicional e artesanal, criando assim um padrão único como uma impressão digital. Este padrão é registado através de captura de imagem por microscopia e registada numa base de dados, dando assim uma identidade à peça.

Este trabalho teve como base objetivos específicos elaborar técnicas de desgaste de metais preciosos, perceber qual a durabilidade do padrão através das análises e testes de desgaste elaborados e adaptados para este propósito. Estes ensaios tiveram como propósito expor as marcas a várias situações adversas como uso diário, abrasão, temperaturas extremas e exposição aos químicos para detetar eventuais alterações no padrão em relação ao registo existente na base de dados. Após a finalização de todos os processos analíticos, pode-se concluir que as marcas com dispersão de partículas de diamantes sujeitas aos testes físicos e químicos, permanecem intactas, sem alterações que comprometam o padrão de dispersão.

Outro objetivo era apresentar a utilidade do UniqueMark® em outro enquadramento forense, como uma ferramenta a ser utilizada como método secundário na identificação de vítimas de desastres em massa. Na pesquisa efetuada sobre as técnicas de identificação de vítimas em desastres de grandes proporções, foi possível observar a elevada probabilidade de aplicação da técnica UniqueMark® como método secundário de identificação. Esta possibilidade dá-se em virtude do padrão único de reconhecimento e da longa durabilidade do padrão de dispersão constatada neste trabalho.

**Palavras-chave:** Desgaste, marcas, falsificações, desastre em massa, metais preciosos.





## **Abstract**

For over 600 years Portugal have been using assay markings on silver and gold pieces to distinguish its origins and authenticity in case of theft or forgery and it still is a current technique.

It has been a challenge for the researchers and scientists at Imprensa Nacional Casa da Moeda (INCM) that innovated this method with a modern technique of chaotic dispersion of diamond particles over the traditional and artisanal puncturing, creating this way and unique pattern much like a digital fingerprint. This pattern is registered with an image captured with a microscope and then registered in a database, giving the piece an identity.

The main purpose of this thesis was such as to elaborate techniques of deterioration of precious metals, understanding the pattern durability through analysis and deterioration tests, elaborated, and adapted to this end. Furthermore, the purpose of the tests were to expose the assay markings to various situations such as, daily use, abrasion, extreme temperatures, and exposure to chemical substances to detect any change or modification to the pattern registered originally in the database.

As a result of the analytical testing it's safe to conclude that the markings done with the technique of chaotic dispersion of diamond particles submitted to physical and chemical testing, remain untouched, with no alterations that compromise the pattern of dispersion.

Another purpose of this thesis was to present other utility for UniqueMark in a forensic environment, such as a tool to be used as a secondary method to identify victims in mass disasters.

Another objective was to present the utility of UniqueMark® in another forensic framework, as a tool to be used as a secondary method in identifying victims of mass disasters. In the research carried out on victim identification techniques in major disasters, it was possible to observe the high probability of applying the UniqueMark® technique as a secondary method of identification. This possibility is due to the unique recognition pattern and the long durability of the dispersion pattern found in this work.

**Keywords:** Wear, hallmarks, counterfeits, mass disaster, precious metals.



## **Índice**

Resumo .....	1
Índice de Figuras .....	8
Índice de Tabelas .....	11
Lista de Abreviaturas .....	12
1. Introdução .....	15
1.1. Análise de metais nobres marcados com técnica de dispersão de diamantes UniqueMark® .....	15
1.2. Interferentes .....	16
1.2.1. Desgaste por uso .....	16
1.2.2. Agentes físicos .....	16
1.2.3. Ultrassons .....	17
1.2.4. Abrasão .....	17
1.2.5. Exposição a reagentes químicos .....	17
1.2.6. Interferentes atmosféricos .....	17
1.3. Objetivos .....	18
1.3.1. Criação de metodologia de ensaio .....	18
1.3.2. Comprovar a durabilidade da marca UniqueMark® .....	18
1.3.3. Outra utilização do projeto UniqueMark® em contexto forense .....	18
1.4. Organização da dissertação .....	18
2. Contexto histórico .....	20
2.1. Origem das marcações .....	20
2.1.1. Marcas de contraste municipais de Lisboa .....	21
2.2. Técnicas de marcação .....	23
2.2.1. Marcação por puncionamento .....	23
2.2.1.1. Marca do punção de responsabilidade .....	24

2.2.1.2.	Marca do punção de contrastaria.....	25
2.2.1.3.	Marca comum de controlo.....	26
2.2.2.	Marcação por pressão .....	27
2.2.3.	Marcação por laser.....	28
2.2.4.	Peças marcadas por punção com dispersão de partículas de diamante ....	29
2.3.	Comércio de falsificação .....	32
2.3.1.	Falsificação em contexto mundial .....	32
3.	UniqueMark® em outro contexto Forense .....	37
3.1.	UniqueMark® - método secundário de identificação em desastres em massa	37
3.1.1.	Artigos legais relacionados aos direitos humanos .....	38
3.1.2.	Identificação de vítimas .....	38
3.1.3.	Processo inicial .....	39
3.1.4.	Métodos primários .....	39
3.1.5.	Métodos secundários .....	40
4.	Materiais e métodos .....	42
4.1.	Reagentes, materiais e amostras .....	42
4.2.	Testes de durabilidade da incrustação das porções de diamante nos metais ...	43
4.2.1.	Teste de uso diário .....	43
4.2.2.	Suntest .....	45
4.2.3.	Exposição natural .....	46
4.2.4.	Exposição aos ultrassons .....	46
4.2.5.	Desgaste em tambor rotativo .....	47
4.2.5.1.	Preparação de desgaste médio .....	49
4.2.6.	Testes químicos .....	51
4.2.7.	Teste das câmaras climáticas (resistência a temperaturas extremas) .....	52
4.2.7.1.	Procedimento .....	54
4.3.	Métodos de Leitura e validação .....	55

4.3.1.	Microscópio digital.....	55
4.3.2.	Microscopia de varrimento.....	56
4.3.3.	Aplicação de reconhecimento de padrão de dispersão .....	58
5.	Resultados e Discussão.....	60
5.1.	Resultados dos testes de resistência.....	60
5.1.1.	Uso diário .....	60
5.1.2.	Suntest .....	66
5.1.3.	Exposição natural .....	67
5.1.4.	Ultrassons .....	68
5.1.5.	Abrasão.....	69
5.1.6.	Exposição aos químicos .....	72
5.1.7.	Câmaras climáticas resistência ao frio e calor.....	73
6.	Conclusão e perspectivas futuras .....	75
	Referências .....	77
	Anexos.....	80
	Anexo 1 - Espectro obtido no MEV para identificar os metais presentes na amostra	80
	Anexo 2 - Anel ouro 999 uso diário (amostra 1) original e máscaras .....	80
	Anexo 3 - Anel prata 925 uso diário (amostra 5) original e máscaras .....	81
	Anexo 4 - Medalha prata 800 uso diário (amostra 4) original e máscaras .....	81
	Anexo 5 - Moeda corrente 2 euros uso diário (amostra 6) original e máscaras .....	81
	Anexo 6 - Medalha prata 800 em exposição natural, original e máscaras .....	82
	Anexo 7 - Medalha prata 800 em exposição aos químicos FUEL B e solução alcalina, original e máscaras .....	82
	Anexo 8 - Medalha prata 800 em exposição aos químicos Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> e solução ácida, original e máscaras .....	82

## **Índice de Figuras**

Figura 1 - Marca da prata da contrastaria de Lisboa, dos fins do século XVII. ....	21
Figura 2 - Marca variante da marca da prata da contrastaria de Lisboa, dos fins do século XVII. ....	22
Figura 3 - Marca da prata em Lisboa no ano de 1938. ....	22
Figura 4 - Marca atual da prata em Lisboa. ....	22
Figura 5 - Marcação por puncionamento. ....	24
Figura 6 - Execução da marca do punção de responsabilidade. ....	24
Figura 7 - A marca de ouro do punção de contrastaria. ....	25
Figura 8 - Marcas legais das contrastarias portuguesas. ....	26
Figura 9 - Marca comum de controlo. ....	26
Figura 10 - Sistema de marcação da Convenção de Metais. ....	27
Figura 11 - Marcação por pressão. ....	28
Figura 12 - Marcação feita por laser. ....	29
Figura 13 - Marcação por punção com dispersão de partículas de diamante. ....	30
Figura 14 - Incrustação das partículas em ouro. ....	31
Figura 15 - Dispensador de partículas de diamante. ....	32
Figura 16 - Objetos falsificados em contexto mundial. ....	33
Figura 17 - Diferença entre um relógio legítimo e falso. ....	34
Figura 18 - Equipamento suntest. ....	45
Figura 19 - Equipamento de ultrassons. ....	47
Figura 20 - Tambor rotativo. ....	47
Figura 21 - Interior do tambor de abrasão. ....	48
Figura 22 - Mistura da pasta abrasiva com os grânulos. ....	50
Figura 23 - Provete com pedras e areia. ....	50
Figura 24 - Câmara climática modelo fitoclima 300 EDU. ....	52
Figura 25 - Câmara climática modelo fitoclima 300 ECP. ....	53
Figura 26 - Ciclo entre os dois extremos de temperatura. ....	54
Figura 27 - Microscópio digital portátil. ....	56
Figura 28 - Microscópio eletrónico de varrimento. ....	57

Figura 29 - Exemplo de uma amostra que foi analisada no MEV .....	58
Figura 30 - Aplicação de reconhecimento de padrão de dispersão .....	59
Figura 31 – Imagem do anel de ouro com uso diário (amostra 1), obtida pelo MEV no dia 20.12.2019 .....	60
Figura 32 - Imagem do anel de ouro com uso diário (amostra 1), obtida pelo MEV no dia 25.06.2020 com ampliação de 75x .....	61
Figura 33 - Imagem do anel de ouro com uso diário (amostra 1), obtida pelo MEV no dia 05.11.2020 com ampliação de 75x .....	62
Figura 34 – Imagem da máscara do posicionamento das partículas de diamante na marca ao longo do tempo do anel de ouro (amostra 1) .....	63
Figura 35 - Imagem da máscara do posicionamento das partículas de diamante na marca ao longo do tempo no anel de prata (amostra 5) .....	64
Figura 36 – Imagem da máscara do posicionamento das partículas de diamante na marca ao longo do tempo na medalha de prata 800 .....	65
Figura 37 - Imagem da máscara do posicionamento das partículas de diamante na marca ao longo do tempo na moeda de 2€ .....	66
Figura 38 - Imagem da medalha de prata analisada na Suntest, obtida pelo MEV no dia 05.11.2020 com ampliação de 75x .....	67
Figura 39 - Amostra exposta à exposição natural (A) em comparação com a amostra controlo (B) .....	67
Figura 40 – Imagem do padrão de dispersão da amostra em exposição natural, obtida pelo MEV no dia 05.11.2020 com ampliação de 75x .....	68
Figura 41 - Imagem da amostra submetida aos ultrassons, obtida pelo MEV no dia 05.11.2020 com ampliação de 75x .....	69
Figura 42 - Linha do tempo efetuada após os ciclos de abrasão .....	70
Figura 43 - Resultado dos ciclos de abrasão.....	71
Figura 44 - Imagem da amostra submetida ao teste de abrasão, obtida pelo MEV no dia 05.11.2020 com ampliação de 75x .....	72
Figura 45 – Imagem das amostras expostas aos químicos sem alterações.....	73
Figura 46 - Imagem da amostra submetida ao teste de temperaturas extremas, obtida pelo MEV no dia 05.11.2020 com ampliação de 75x .....	74
Figura 47 - Espectro obtido no MEV .....	80
Figura 48 - Anel ouro 999 uso diário (amostra 1) original e máscaras .....	80
Figura 49 - Anel prata 925 uso diário (amostra 5) original e máscaras.....	81

Figura 50 - Medalha prata 800 uso diário (amostra 4) original e máscaras .....	81
Figura 51 - Moeda corrente 2 euros uso diário (amostra 6) original e máscaras .....	81
Figura 52 - Medalha prata 800 em exposição natural, original e máscaras.....	82
Figura 53 - Medalha prata 800 em exposição aos químicos .....	82
Figura 54 - Medalha prata 800 em exposição aos químicos Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> e solução ácida..	82



## **Índice de Tabelas**

Tabela 1 - Falsificações de materiais nos EUA em 2019.....	35
Tabela 2 - Identificadores secundários .....	40
Tabela 3 - Algumas peças utilizadas para o teste do uso diário .....	44
Tabela 4 - Condições do equipamento Suntest XLS/XLS+ .....	46
Tabela 5 - Especificações do tambor rotativo .....	48
Tabela 6 - Reagente utilizados nos testes químicos .....	51
Tabela 7 - Especificações modelo fitoclima 300 EDU.....	53
Tabela 8 - Especificações modelo fitoclima 300 ECP .....	53
Tabela 9 - Microscópio digital portátil .....	56

## **Lista de Abreviaturas**

AFIS - Sistema automatizado de identificação de impressão digital

Art. – Artigo

CCM – Marca Comum de Convenção

CIE - Comissão Internacional de Iluminação

DNA - Ácido desoxirribonucleico

EN – Norma Europeia

EU - União Europeia

EUA – Estados Unidos da América

g – Grama

INCM - Imprensa Nacional Casa da Moeda

INCM LAB – Laboratório de Inovação Casa da Moeda

ISO – Organização internacional de Normalização

LED - Diodo emissor de luz

MEV - Microscópio Eletrónico de Varrimento

min – Minuto

ml – Mililitro

mm – Milímetro

N – Norma

NBC - NBC News International

nm – Nanometro

OECD - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

RH – Humidade relativa

w – Watts

2D – Segunda Dimensão

3D – Terceira dimensão

°C - Graus celsius



## **1. Introdução**

### **1.1. Análise de metais nobres marcados com técnica de dispersão de diamantes UniqueMark®**

A marcação de artefactos para determinação da sua origem e da qualidade do metal nasce em função da necessidade do controlo dos metais preciosos, no princípio apenas ouro e prata. Em Portugal esta técnica é oficialmente utilizada desde 1401, inicialmente no Porto durante o reinado de Dom João I, tendo surgido pela necessidade de regulamentar o comércio de metais preciosos que já naquela época se encontrava em expansão na arte de falsificar todos os tipos de artefactos valiosos no intuito de obter maior lucro (Fazenda, 1927). Mais tarde as marcações passaram também a ser feitas em Lisboa e Braga, considera-se que esta seja a mais antiga medida de proteção ao consumidor em Portugal.

Desde 1886 a Imprensa Nacional Casa da Moeda (INCM) abriga as contrastarias de Lisboa, Porto e Gondomar oficialmente responsáveis pelas marcações de metais preciosos a nível nacional.

Para continuar a salvaguardar os direitos dos consumidores em relação às falsificações e contrafações, a INCM criou um departamento de inovação que atua em todas as áreas das contrastarias e também na área de documentos e selos de segurança, tendo como objetivo desenvolver ou melhorar técnicas de segurança dificultando, cada vez mais, a possibilidade de reprodução de determinados produtos.

Tendo em vista esta necessidade constante de proteger os seus clientes, em 2017/2018 foi desenvolvida na INCM uma nova técnica de segurança na marcação de joias utilizando a dispersão de partículas de diamante antes do punctionamento da marca de contrastaria que é aplicado através de método artesanal. Estas partículas ficam incrustadas na marca (UniqueMark®), criando assim um padrão de dispersão único que, por ser aleatório, assim como uma impressão digital, torna-se impossível de reproduzir. Este padrão é registado e associado ao proprietário ou fabricante da joia (Goncalves & Cruz, 2019).

A utilização da marcação UniqueMark® pode ser considerada uma técnica completamente inovadora e não tendo precedentes, não há estudos específicos na literatura que sirvam de guia para a fundação teórica deste trabalho. Por este motivo, em função das necessidades dos ensaios de durabilidade e desgaste do material, foram

empregues técnicas utilizadas pela INCM para análise de moedas, metais nobres e chips eletrónicos utilizados em cartões e passaportes respeitando as normas ISO ou da EU como base orientadora para os ensaios laboratoriais.

## **1.2. Interferentes**

Para a realização de uma metodologia laboratorial analítica, foi necessário realizar uma pesquisa dos elementos que podem provocar o desgaste do metal, a perda das partículas de diamante (parcial ou total) ou qualquer interferência externa que possa afetar a leitura do padrão com efeito imediato ou ao longo de vários anos.

Como resultado da pesquisa efetuada, passamos a descrever os elementos que podem interferir na durabilidade e do padrão de dispersão das partículas de diamante.

### **1.2.1. Desgaste por uso**

A rotina de uma pessoa passa por várias etapas ao longo do dia como trabalhar, praticar desporto, realizar tarefas domésticas, higiene corporal e muitas outras atividades. Entretanto, se esta pessoa estiver a utilizar uma joia como por exemplo um anel, cada uma destas dinâmicas pode acarretar danos à peça, pois esta terá contacto direto com muitos produtos, tais como cremes, detergentes, álcool, água, entre muitos outros, dependendo dos afazeres de cada indivíduo e também do material biológico intrínseco de cada um, como o suor e ácidos gordos produzidos pelo organismo humano.

### **1.2.2. Agentes físicos**

Na generalidade, alguns materiais apresentam alterações quando expostos a temperaturas extremas e têm um aumento de volume quando aquecidos. A este fenómeno de expansão é designado por dilatação térmica. Este processo pode ocorrer com todos os tipos de corpos e em particular com os sólidos. O processo de arrefecimento pode igualmente trazer alterações para os materiais, provocando uma contração térmica. Então, podemos dizer que a contração e dilatação de metais são processos que sucedem em função do aumento ou da diminuição do grau de agitação das moléculas nos corpos.

No processo de aquecimento de um corpo, ocorre um distanciamento entre as moléculas, promovendo um aumento da dimensão que pode ser linear, superficial (área) e volumétrico. O inverso acontece no processo de arrefecimento de um corpo, onde ocorre uma diminuição do espaço entre as moléculas, dando origem a uma redução do tamanho do corpo (Kochanovska, 2004). Durante este processo de dilatação e contração pode ocorrer a queda das partículas de diamante incrustadas no metal.

### **1.2.3. Ultrassons**

Os ultrassons reproduzem vibrações de alta frequência e os efeitos destas vibrações fazem com que pequenos fragmentos presos ao metal se soltem. Similar à limpeza por cavitação, células biológicas incluindo bactérias, podem ser desintegradas. A alta potência do ultrassom produz cavitação, que facilita a desintegração de partículas ou reações. A frequência do ultrassom é expressa em unidades de Hertz (1 Hz = 1 ciclo por segundo). A faixa de audição humana é de cerca de 20 Hz a 20 kHz (Mason, 2016).

### **1.2.4. Abrasão**

O desgaste é uma das mais graves formas de degradação dos materiais pelo que este é um dos mais importantes ensaios realizados, pois, simula o desgaste por atrito com outros materiais por um longo período (Martinez, 2004).

### **1.2.5. Exposição a reagentes químicos**

O ouro e a prata são metais que apresentam uma grande resistência à exposição de químicos. A prata é mais sensível que o ouro e sofre oxidação com o tempo bem como o contacto com produtos químicos tendo como consequência um aspeto bastante escurecido e ligeiramente danificado (Espinoza, 2013).

Este teste tem por objetivo determinar a durabilidade da incrustação das partículas de diamante sob a ação dos químicos no punção e no seu suporte metálico, utilizando como referência a norma (N 10373-1) que prevê a exposição das amostras a vários tipos de reagentes em duas fases diferentes.

### **1.2.6. Interferentes atmosféricos**

O intemperismo é a resposta adversa de um material ou produto exposto ao clima, geralmente causando falhas prematuras e indesejadas no produto. Os consumidores gastam milhares de milhões de euros por ano para manter produtos, que inevitavelmente se degradam ou para substituir produtos que se desgastam ou ficam destruídos com a corrosão como resultado da exposição ao ar livre.

Os três principais fatores de intemperismo são a humidade, a radiação e a temperatura. No que diz respeito a estes fatores, não é apenas a quantidade de cada um deles, em última análise, que causa degradação dos materiais, uma vez que diferentes tipos de radiação solar, diferentes fases de humidade e ciclos de temperatura têm um efeito significativo

nos materiais em exposição. Por outro lado, adicionalmente a esses fatores, existem efeitos secundários provocados por outros fatores, como por exemplo o transporte aéreo, poluentes, fenómenos biológicos e chuva ácida, que em conjunto causam danos ao objeto (McGreer, 2003).

### **1.3. Objetivos**

Os principais objetivos do trabalho descrito nesta dissertação incluem os seguintes tópicos.

#### **1.3.1. Criação de metodologia de ensaio**

Para que a marca possa ser utilizada com a segurança de que o seu padrão único não desapareça com o tempo e com o uso, o primeiro objetivo é criar uma metodologia de ensaios laboratoriais que faça a simulação de atrito, esforço e pressão assim como outros agentes que possam contribuir para o desgaste de um metal precioso marcado.

#### **1.3.2. Comprovar a durabilidade da marca UniqueMark®**

O segundo objetivo é demonstrar através dos ensaios realizados que a marca mantém as suas características de segurança e permanece legível por um longo período, independentemente de ser exposta a meios insalubres ou extremos, garantindo que é uma técnica eficaz no combate à falsificação e à proteção dos consumidores.

#### **1.3.3. Outra utilização do projeto UniqueMark® em contexto forense**

Outro objetivo é apresentar a possibilidade de utilização das marcações UniqueMark® em contexto de identificação de vítimas em desastres em massa, tendo em consideração que o seu padrão único contém informação necessária que possibilita a rastreabilidade. A identificação da sua proveniência, e em alguns casos o seu proprietário, é passível de registo em base de dados, tal como uma impressão digital, uma vez que também são únicas e perenes se não sofrerem graves danos. Aliás, este processo de armazenamento de dados está a ser criado à semelhança do sistema AFIS (Automated Fingerprint Identification System), que é a base de dados onde são armazenadas as impressões digitais (Krish *et al.*, 2019).

### **1.4. Organização da dissertação**

No Capítulo 2 são apresentados os fundamentos históricos do início das marcações dos objetos em metais preciosos, ou seja, a origem, as particularidades e as razões pelas quais foram criadas regulamentações para as marcas de contrastaria. Também são descritas



técnicas de marcação utilizadas atualmente e a contribuição do UniqueMark® no combate à falsificação de metais preciosos.

No Capítulo 3, é apresentada a possibilidade de utilização da marca UniqueMark® num contexto forense diferente, nomeadamente a sua utilização como método secundário de identificação de vítimas de desastre em massa. No capítulo 4 é feita a descrição de todos os materiais utilizados para este trabalho, assim como a descrição dos equipamentos e processos de ensaio. No capítulo 5 são apresentados os resultados e a discussão sobre cada ensaio realizado. Por fim, no Capítulo 6 são apresentadas as conclusões retiradas deste estudo, e as perspetivas para futura utilização em contexto forense.

## **2. Contexto histórico**

### **2.1. Origem das marcações**

No Século XIII, Dom Afonso II e Dom Afonso III determinaram, através de lei, a punição severa aos falsificadores de artefactos de ouro e prata aplicando o mesmo aos fabricantes de moedas falsas. Durante o reinado de Dom Afonso III foi determinado o toque do ouro, que nesta altura foi estabelecido em 9 dinheiros (correspondente a 18 quilates ou 750 milésimas) e o da prata em 11 dinheiros (correspondente a 917 milésimas) (Fazenda, 1927).

No início do séc. XV, em 1401, enquanto reinava em Portugal Dom João I, na cidade do Porto instituíam-se os primeiros afinadores de prata, que em Lisboa apareceriam somente no ano de 1460 durante o reinado de Dom Afonso V. Nesta altura também se estabeleceram as regras que deveriam ser seguidas pelos afinadores do Porto e Lisboa, onde deveriam constar, a letra P e um barco com dois corvos, juntamente com uma marca específica e individual para cada ourives. Estas marcas obrigavam a que os profissionais tivessem um registo municipal, o qual conferia ao seu produto a garantia de qualidade e a sujeição de multa em caso de venda sem a devida autenticação (Vidal, 1996). Com o passar dos anos o valor do ouro e da prata tendem a valorizar e com esta valorização também aumenta a tentação de conceber peças com toques muito inferiores, mas visualmente parecidos com as peças legais no intuito de enganar os compradores incapazes de fazer a distinção entre as peças legítimas e as ilegais e assim gerar maior lucro. Esta prática realizada desde a antiguidade até aos dias de hoje, fez com que ao longo do tempo aumentassem as leis reguladoras do comércio de artefactos preciosos numa tentativa de proteger cada vez mais os consumidores.

Estas práticas fraudulentas induziram os governantes a agir em favor dos consumidores e em prol de uma justa concorrência entre os comerciantes criando assim as contrastarias dependentes do Estado, completamente isentas de toda a operação económica associada ao comércio destes artefactos e ainda devidamente fiscalizadas e regulamentadas pela legislação, que já naquele tempo, aplicava punições para logros ou falsificações.

Na urgência de salvaguardar a legitimidade e a qualidade dos objetos em metal nobre e eventuais fraudes, foi desenvolvida uma regulamentação e normas que em termos práticos

efetivos traduziu-se na marcação das peças durante a fase de fabrico de cada peça com uma marca de ourives ou fabricante.

Com o tempo foram implementadas outras marcas pelos ensaiadores que em 1689 passaram a marcar na prata a localidade onde exerciam a sua profissão: Um L coroado para Lisboa, P coroado para o Porto, B coroado para Braga e assim sucessivamente para cada concelho.

Para o ouro eram aplicadas as letras (X) ou (I) coroadas ou encimadas por granitos. Estas marcas garantiam o toque mínimo exigido que era de 750 milésimas tanto para o ouro como para a prata.

Embora se saiba que houve contrastes municipais em Lisboa, Porto, Braga, Guimarães, Évora, Coimbra, Setúbal, Beja e supostamente em Santarém, não se encontram os registos regulamentares das marcas em todos estes distritos. Entre os anos de 1690 a 1886 sabe-se que os registos não abrangem completamente o período de expansão das marcas antigas (Vidal, 1996).

Estas marcas foram utilizadas até 1886, desde então, após a criação das atuais contrastarias dependentes da INCM, as marcas sofreram uma atualização e padronização e começam a ser efetivas e totalmente registadas.

#### **2.1.1. Marcas de contraste municipais de Lisboa**

Numa pesquisa efetuada aos registos antigos das marcas, podemos observar a mudança e a evolução das marcações na prata, efetuadas em Lisboa (figuras 1 a 4).



Figura 1 - Marca da prata da contrastaria de Lisboa, dos fins do século XVII.  
Fonte: Marcas de Contrastes e Ourives Portugueses, 3ª edição, Vol.1.



Figura 2 - Marca variante da marca da prata da contrastaria de Lisboa, dos fins do século XVII.  
Fonte: Marcas de Contrastes e Ourives Portugueses, 3ª edição, Vol.1.



Figura 3 - Marca da prata em Lisboa no ano de 1938.  
Fonte: Marcas de Contrastes e Ourives Portugueses, Vol.2.



Figura 4 - Marca atual da prata em Lisboa.  
Fonte: Marcas de Contrastes e Ourives Portugueses, Vol.2.

Nas novas diretivas da EU estão estabelecidas regras relativas as marcas feitas pelas contrastarias e no Decreto-lei nº98/2015 Artº64, está expresso que essas marcas podem:

“Conter a indicação expressa de que o comprador pode, em caso de dúvida sobre a autenticidade das marcas, recorrer, para efeitos de verificação, aos serviços das contrastarias. Um artigo com metal precioso está legalmente marcado quando tiver apostas as marcas das seguintes punções (Decreto Lei nº98/2015):

- Marca do punção de responsabilidade, de fabrico ou equivalente;

- Marca do punção de contrastaria e marca de punção de toque quando aquela não inclua o toque”.

Em Portugal, essa garantia, dada pela verificação do toque legal e aplicação da marca de contrastaria junto à marca de responsabilidade, de fabricante ou equivalente, é por incumbência legal, das Contrastarias da INCM com recurso a laboratórios com os métodos analíticos modernos, e a marcas de elevada segurança contra a falsificação.

## **2.2. Técnicas de marcação**

A marcação de percussão tradicional é até hoje a técnica mais utilizada na contrastaria de Lisboa, sendo que a marcação a laser representa aproximadamente 30% das marcações nesta contrastaria. Contudo, na contrastaria de Gondomar a tecnologia de marcação a laser já é mais utilizada do que o puncionamento tradicional na identificação de metais preciosos.

Numa fase de desenvolvimento avançado, e não sendo ainda uma técnica utilizada com regularidade de produção, estão as técnicas inovadoras de marcação UniqueMark®. Esta tecnologia abrange dois tipos de marcação, sendo uma por laser com utilização de algoritmos, que tornam a marca única por linhas traçadas pelo laser; e o outro tipo de marcação é a técnica em análise no presente trabalho, que é feita por puncionamento em simultâneo com a incrustação aleatória de partículas de diamante que formam um padrão único.

### **2.2.1. Marcação por puncionamento**

Tal como registado na figura 5, esta marcação é feita com uma ferramenta designada punção e requer perícia do técnico, criando uma impressão ao mover por impacto o metal. Este movimento pode deixar uma leve marca no metal ou pode distorcê-lo (dependendo da espessura e da força aplicada ao punção). A marcação manual é o método mais tradicional de marcação e é realizada com punção e martelo. Este tipo de marcação não é recomendado para artigos metálicos muito finos, delicados ou ocos.



Figura 5 - Marcação por puncionamento.  
Fonte: <https://www.assayofficelondon.co.uk/>, em 12/10/2020

#### **2.2.1.1. Marca do punção de responsabilidade**

É aplicada pelo fabricante do objeto (figura 6). Contém uma gravação identificativa com uma imagem exclusiva, bem como a letra inicial do nome do operador económico, dos apelidos ou da empresa que a produziu e introduziu no mercado.



Figura 6 -Execução da marca do punção de responsabilidade.  
Fonte: <https://www.contrastaria.pt/marca-de-responsabilidade>, em 25/10/2020.

#### 2.2.1.2. Marca do punção de contrastaria

A marca de contrastaria ou marca do punção de toque, é inserida, tal como a designação indica, pela Contrastaria Portuguesa e caracteriza o tipo e o toque do metal precioso e identifica a contrastaria que realizou o ensaio e marcação pela definição do perímetro de acordo com o seguinte:

- Contrastarias de Lisboa – o perímetro consiste numa figura curva.
- Contrastaria do Porto - o perímetro consiste num octógono irregular simétrico.

Para diferenciar os vários tipos de metal e o toque é utilizada uma simbologia. Em Portugal os símbolos usados representam cabeças de animais, e por baixo de cada símbolo, é colocado um número que corresponde à permilagem do metal precioso contido na peça. Assim, as peças podem apresentar marcas diferentes, como por exemplo:

- **Ouro** – cabeça de veado para os toques iguais ou superiores a 800 milésimas e andorinha em voo para os toques inferiores a 800 milésimas conforme imagem 7.



Figura 7 - A marca de ouro do punção de contrastaria.  
Fonte: <https://www.joiapro.pt/2020/09/17/contrastaria> em 25/10/20.

- **Prata** – cabeça de águia (voltada para a esquerda nos toques legais iguais ou superiores a 925 milésimas e para a direita nos toques legais iguais ou inferiores a 835 milésimas);
- **Platina** – cabeça de papagaio;
- **Paládio** – cabeça de lince (voltada para a esquerda).

Apresenta-se abaixo (figura 8) algumas diferenças nas marcas dos metais por contrastaria.

# MARCAS LEGAIS DAS CONTRASTARIAS PORTUGUESAS

Lei n.º 98/2015 de 18 de agosto e Decreto n.º 2/2006 de 3 de janeiro.

**INCM**

## MARCAS LEGAIS: MARCA DE RESPONSABILIDADE E MARCA DE CONTRASTARIA

Marca de responsabilidade, de fabrico ou equivalente

Marca de contrastaria

### MARCAS DE CONTRASTARIA

PLATINA	LISBOA	PORTO	OURO	LISBOA	PORTO	PALÁDIO	LISBOA	PORTO	PRATA	LISBOA	PORTO
999 ‰			999 ‰ (24 k)			999 ‰			999 ‰		
950 ‰			916 ‰ (22 k)			950 ‰			925 ‰		
900 ‰			800 ‰ (19,2 k)			500 ‰			835 ‰		
850 ‰			750 ‰ (18 k)						830 ‰		
			585 ‰ (14 k)						800 ‰		
			375 ‰ (9 k)								

Figura 8 - Marcas legais das contrastarias portuguesas.

Fonte: <https://www.contrastaria.pt/marcas-de-portugal> em 28-10-2020.

### 2.2.1.3. Marca comum de controlo

A marca comum de controlo (CCM) ou marca da Convenção (figura 9), contém a gravura de uma balança e um número em algarismos árabes, expresso em milésimos, indicativo do toque do metal precioso, enquadrado num perímetro indicativo do tipo de metal precioso.



Figura 9 - Marca comum de controlo.

Fonte: <https://www.contrastaria.pt/marcas-comuns-de-controlo> em 28-10-2020.



Em 1972 foi realizada em Viena uma reunião entre vários países<sup>1</sup>, entre eles Portugal, em que o objetivo desta convenção (também conhecida como "Convenção de Metais Preciosos") foi facilitar o comércio de artigos de metais preciosos e, ao mesmo tempo, manter o comércio justo e a proteção do consumidor justificada pela natureza particular desses artigos.

O sistema de marcação da Convenção é constituído pela posição das marcas que constam a figura 10 e são as seguintes:

- Marca de Responsabilidade;
- Marca de Contrastaria;
- Marca Comum de Controlo (CCM);
- Número de toque, em algarismos árabes.



Figura 10 - Sistema de marcação da Convenção de Metais.

Fonte: <https://www.gold.org/about-gold/about-gold-jewellery/gold-hallmarks> em 03-11-2020.

### **2.2.2. Marcação por pressão**

A marcação por pressão ou pneumática, é uma outra forma tradicional de marcação de joias. Essencialmente, é uma versão automatizada da marcação manual na qual as marcas são aplicadas por meio de “pressão do ar”. O processo é frequentemente usado para grandes tiragens do mesmo tipo de artigo ou de tipo semelhante. Esta técnica, ilustrada na figura 11, não é utilizada atualmente em Portugal.

---

<sup>1</sup> Áustria, Letónia, Chipre, Lituânia, Croácia, Noruega, Dinamarca, Polónia, Eslovénia, Portugal, Finlândia, Reino Unido, Holanda, República Checa, Hungria, Eslováquia, Irlanda, Suécia, Israel, Suíça e Sérvia.



Figura 11 - Marcação por pressão.

Fonte: <https://www.assayofficelondon.co.uk/hallmarking/methods-of-marking> em 25/10/2020.

### 2.2.3. Marcação por laser

A marcação por laser é o método mais recente de aplicação de uma marca registrada e além de ser uma técnica económica também é muito eficaz para marcar peças delicadas que não suportam o impacto do punção tradicional. A limitada profundidade de foco num laser faz com que os artigos que sejam planos, como por exemplo os versos de relógios, molduras de fotografias e botões de punho, sejam os produtos ideais para serem marcados a laser. A marcação em artigos curvos também é possível quando a peça tem uma área grande que permita que o raio de curvatura seja suficientemente raso para manter o foco. Pode efetuar-se marcações a laser em duas versões diferentes:

- Marca laser 3D: cria um resultado mais profundo e detalhado. Entretanto é uma marca sensível e suporta apenas um polimento muito leve.
- Marca de laser 2D: assemelha-se ao contorno de uma marca atingida. Cria um contorno simples da marca registrada. É muito leve e apenas pode ser feita em itens acabados (Kallek *et al.*, 2012).

A técnica UniqueMark® para marcações a laser desenvolvida pela INCM, define através de funções matemáticas um percurso específico para o feixe de laser, que não é aleatório, mas sim definido. Este feixe faz com que o metal derreta durante a sua passagem e

reproduza o desenho predeterminado. Uma vez que não é possível prever a reação molecular do metal sob o efeito do laser, estes efeitos fazem com que se produzam características únicas, o que é desejado na marca. A cada passagem do feixe é produzido um resultado diferente no metal, sendo que em cada desenho o laser poderá passar um número indeterminado de vezes pelo mesmo local, habitualmente um valor entre 30 e 100. Na figura 12, podemos observar a imagem capturada pelo microscópio de varrimento de uma marcação feita por laser (Gonçalves & Cruz, 2019).

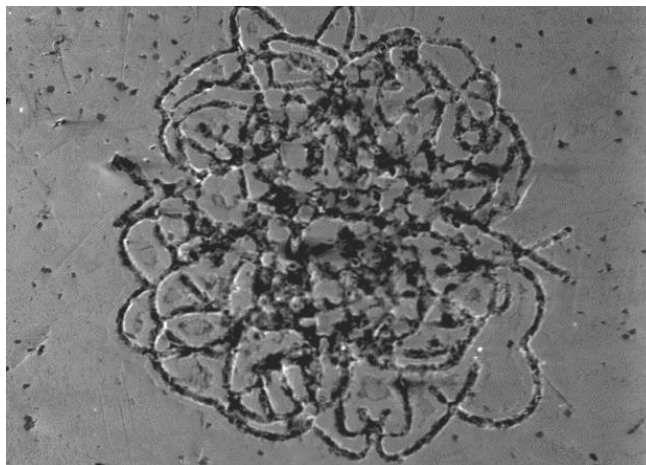


Figura 12 - Marcação feita por laser.  
Fonte: Gonçalves & Cruz, 2019.

#### **2.2.4. Peças marcadas por punção com dispersão de partículas de diamante**

O processo de marcação por puncionamento é a técnica mais antiga de se marcar metais preciosos. O projeto UniqueMark® vem conferir a esta técnica centenária um novo passo anterior ao punção. Esta nova etapa, consiste em realizar uma dispersão de pó de diamante sobre o local que receberá o punção. Após o puncionamento, ainda foi acrescentado mais um passo, o qual se baseia na captação e gravação das imagens das marcações únicas. Estes dois novos passos acrescentados ao punção tradicional, constituem uma grande diferença para análises forenses e para validação de artefactos de metais preciosos.

O processo desta técnica tem início antes do puncionamento sobre a peça a ser marcada, onde é depositado pó de diamante, de modo aleatório e caótico, com o auxílio de um dispensador de partículas, que logo a seguir sofre o impacto do punção por martelada. Com a pressão exercida, o metal cede e assume a forma do desenho do punção e as partículas de diamante que ficam entre o metal e o punção, como têm uma dureza muito

superior ao metal, são incrustadas à força dentro do mesmo. Assim é criado um padrão que jamais poderá ser repetido.

Durante os testes efetuados na procura do material ideal para a criação do padrão único, foram testados vários minerais, que são mais fáceis de identificar em contraste com os metais e têm propriedades distintas, inclusive a de não se fundirem com os metais.

Um exemplo do que pode ocorrer se o mineral não for adequado, pode ser observado nos resultados de um teste que foi realizado com alumina (figura 13) em que o mineral se desintegrou com o impacto. Nesta experiência (Goncalves, June 24, 2019), apesar de se ter gerado um padrão único como era pretendido, este padrão não permite uma fácil identificação por não proporcionar uma imagem segmentada que possa ser quantificada e transformada num padrão de fácil registo e reconhecimento.

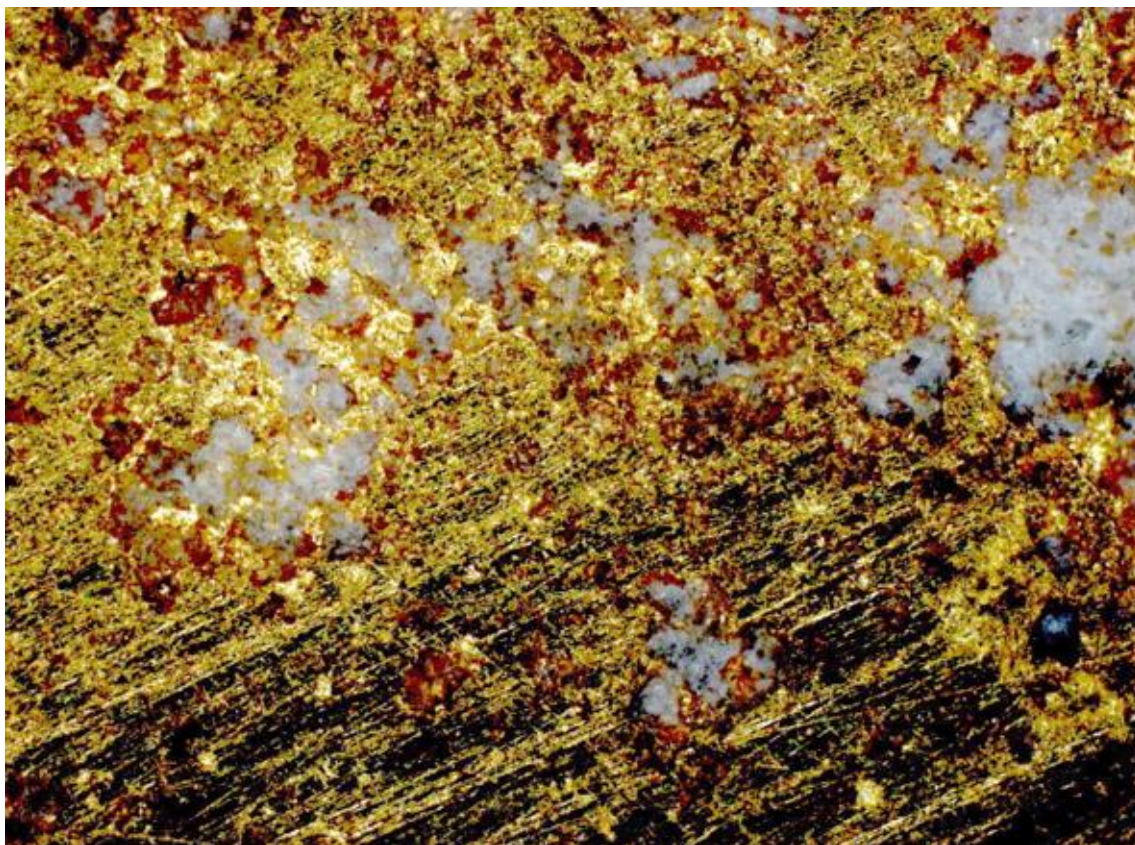


Figura 13 - Marcação por punção com dispersão de partículas de diamante.  
Fonte: Gonçalves e Cruz, 2019.

Também os tamanhos das partículas de diamante foram minuciosamente estudados, pois partículas muito grandes dificultam o processo de incrustação e acrescentam o risco de tornar o método ineficaz, uma vez que pode ocorrer uma má incrustação e possibilitar a



libertação ou queda das partículas maiores da superfície. Ficou estabelecido pelos autores da marca UniqueMark® (Goncalves, June 24, 2019), que para se obter um padrão com características perfeitas, as partículas de diamante devem ter o diâmetro entre 40 e 100 micron criando assim as condições ideais para segmentar o padrão, facilitando o processo de captação de imagens, registo e leitura de reconhecimento como é possível observar na figura 14.

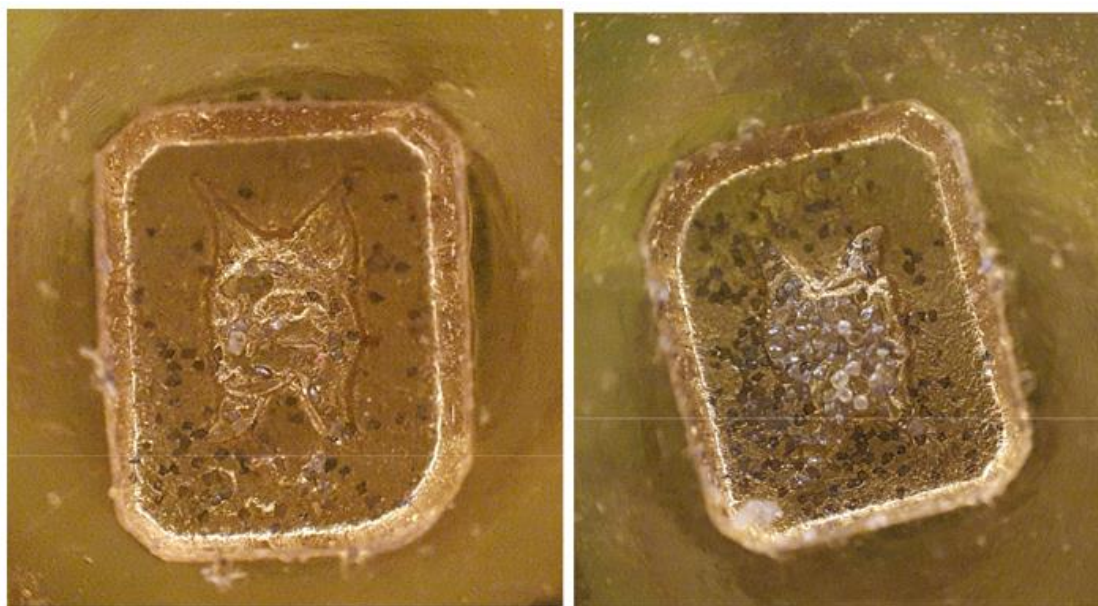


Figura 14 - Incrustação das partículas em ouro.  
Fonte: Gonçalves e Cruz, 2019.

Um dos fatores que dificulta o processo de dispersão é a tendência das partículas de pó para a aglomeração, seja de qual for o material, não havendo uma boa separação das partículas e uma individualização de cada ponto, o que torna o processo mais complicado. Não é viável o espalhamento ou deposição manual das partículas sobre a peça a ser marcada, devido à quantidade, inércia e ao fator de aglomeração. Para tornar o processo de dispersão mais eficaz e célere, foi desenvolvido pelo departamento de inovação da INCM (INCM Lab), em conjunto com a Universidade de Coimbra, um equipamento capaz de realizar a dispersão das partículas de diamante na quantidade desejada e com o auxílio de uma pequena vibração, evitando assim a aglomeração. O dispositivo dispensador de partículas está representado na figura 15.



Figura 15 - Dispensador de partículas de diamante.  
Fonte: Gonçalves e Cruz, 2019.

As dimensões de cada marca continuam iguais às do punção artesanal antigo e habituais que são de aproximadamente  $1\text{mm}^2$ . Todo este processo dentro deste pequeno espaço tem a capacidade de fazer com que uma peça, preciosa ou não, seja uma peça única e irreproduzível e com a possibilidade de rastreabilidade. (Goncalves & Cruz, 2019).

### **2.3. Comércio de falsificação**

Este tipo de atividade prejudica os fabricantes, representantes e consumidores em todo o mundo, sendo um problema com origens muito antigas e uma ameaça à economia global. Muito se tem feito para conter as falsificações e adicionar aos produtos originais elementos de segurança não reproduzíveis e que todos possam identificar como sendo um produto legítimo.

#### **2.3.1. Falsificação em contexto mundial**

A falsificação é a duplicação ilegal de algo valioso com o intuito de enganar os seus compradores. Muitos objetos que usamos diariamente podem ser falsificados, entre eles estão o dinheiro, documentos, cartões de crédito ou débito, roupas, malas, joias e quase tudo que possa trazer alguma vantagem ou lucro rápido. A falsificação tornou-se um problema para empresas multinacionais, especialmente aquelas com uma marca reconhecida. O ato de falsificação é universal e é considerado um crime punível em todo

o mundo. Os falsificadores sabem que a marca é importante na escolha do consumidor e, portanto, visam empresas com renome internacional no mercado. Em resumo, os criminosos procuram duplicar ou produzir produtos falsos de empresas que operam com altas margens e taxas de execução de produtos e geralmente têm como alvos produtos relativamente fáceis de reproduzir (Purpura, 2019). Na figura 16, está representada a lista de objetos mais falsificados em 2016.

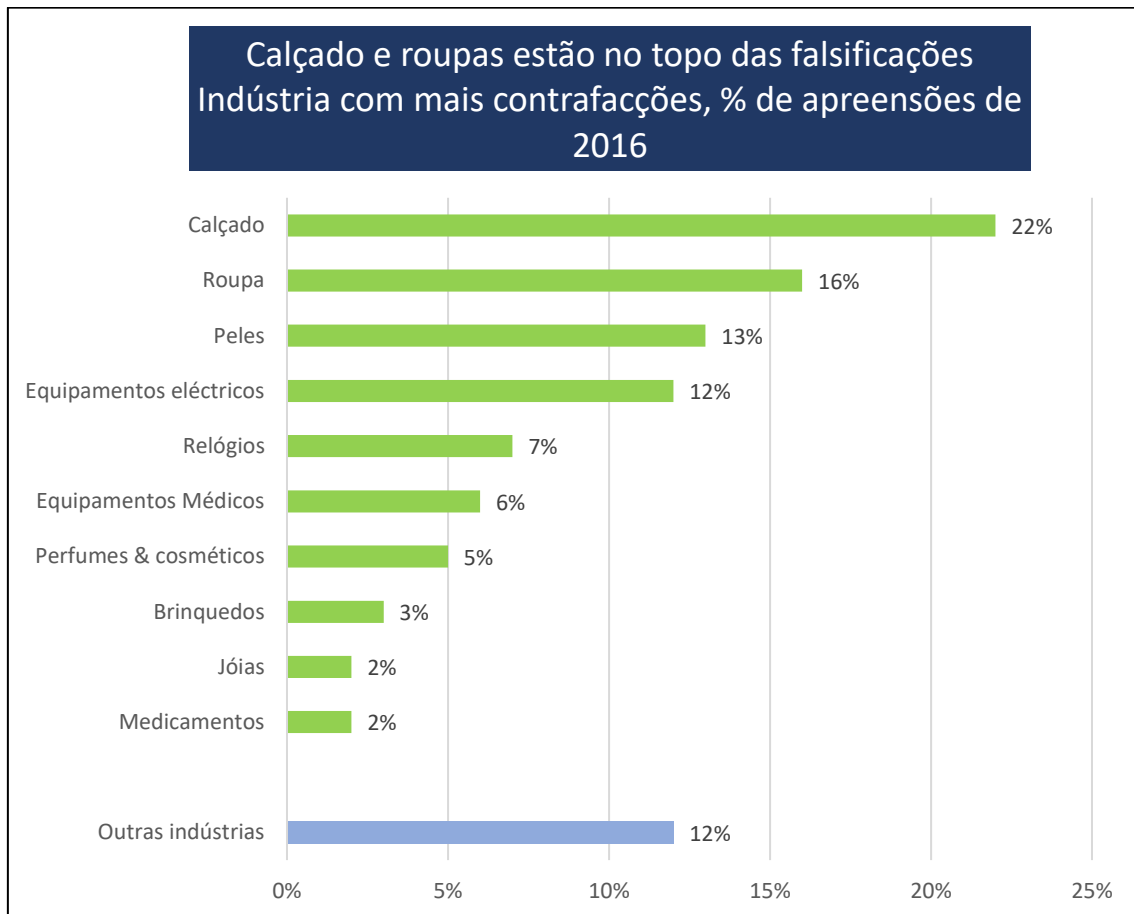


Figura 16 - Objetos falsificados em contexto mundial.  
Fonte: <https://www.oecd.org/>, em 12-07-2020.

Determinar a atual dimensão do mercado de joalheria não é tarefa fácil. Atualmente, estima-se que joias e artigos de luxo não sejam os itens com maior volume de artigos falsificados, mas podem ser os que têm o maior valor de mercado. Em 2017, apenas nos EUA o custo de joias e relógios falsificados apreendidos foi de US \$ 460.162.145 (LuxTag, 2019). É preciso muita experiência e pesquisa para os fornecedores de produtos legítimos localizarem joias falsas, uma vez que muitas falsificações apresentam alto nível de precisão tal como se pode observar a título de exemplo, na figura 17.



Figura 17 - Diferença entre um relógio legítimo e falso.  
Fonte: <https://www.mdig.com.br/index.php?itemid> em 14-11-2020

Segundo a OECD (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico) a maioria dos produtos falsificados recolhidos em postos aduaneiros é originária da China continental e de Hong Kong. Outros principais pontos de origem incluem Emirados Árabes Unidos, Turquia, Singapura, Tailândia e Índia.

Os países mais afetados pela falsificação em 2016 foram os Estados Unidos, cujas marcas ou patentes estavam relacionadas com 24% dos produtos falsificados apreendidos, seguidos pela França com 17%, Itália (15%), Suíça (11%) e Alemanha (9%). Um número crescente de negócios em Singapura, Hong Kong e economias emergentes como Brasil e China também estão a tornar-se alvos dos falsificadores (OECD, 2019).

Em 2016 uma notícia do NBC News alertou para uma onda de falsificação de moedas de prata e ouro, que atingiam principalmente os colecionadores de moedas (Weisbaum, 2016).

A falsificação atualmente tem um elevado grau de precisão, gerando dificuldades de identificação, pelo que até para os especialistas é difícil detetar que as peças não são originais. O início do processo é feito com a imagem de uma moeda original que é retocada através de um programa gráfico e em seguida enviada para um equipamento de gravação. Utiliza-se metal comum para a confecção, normalmente tungsténio e para obter o efeito de uma peça genuína, esta é revestida com ouro para que possa passar no teste do ácido que indica que o metal é ouro. Alguns falsificadores têm o cuidado de que a moeda tenha o mesmo peso de uma moeda de ouro.



Para dificultar ainda mais a identificação das moedas falsificadas, estas são colocadas em réplicas perfeitas do porta moedas original com selos de autenticação falsos reproduzindo a autenticação das entidades autorizadas a fabricar tais objetos (Weisbaum, 2016).

No relatório anual sobre falsificações entregues ao presidente dos EUA em 2019, representado na tabela 1, o percentual de falsificações de joias e relógios atinge os 13% do total de apreensões efetuadas pelos órgãos de segurança, assumindo o terceiro lugar no mercado das falsificações dos EUA (Wolf, 2019).

Tabela 1 - Falsificações de materiais nos EUA em 2019.

Fonte: <https://www.dhs.gov/> em 20-07-2020.

Estatísticas de apreensão anual de direitos de propriedade intelectual do CBP ano fiscal de 2018		
Produtos	Apreensões	Percentual total
Roupas e acessórios	6.098	18%
Calçados	4.728	14%
Joias e relógios	4.291	13%
Bolsas e carteiras	3.593	11%
Eletrônicos	3.388	10%
Produtos de consumo	2.816	8%
Farmacêutica	2.293	7%
Ótica	561	2%
Brinquedos	487	1%
Computadores e acessórios	450	1%

Uma pesquisa pela internet sobre o comércio de falsificações na indústria de metais preciosos, surpreendem a vasta lista de notícias e histórias que dão conta de apreensões e de processos judiciais instaurados contra comerciantes que paralelamente ao comércio de joias verdadeiras, também comercializam peças falsificadas que são altamente lucrativas.

Muito está a ser feito para combater o comércio de falsificação em diversas indústrias em todo o mundo e foram criados muitos elementos de segurança para garantir a qualidade e autenticidade dos produtos, tais como hologramas, selos de segurança, vários tipos de tintas invisíveis, reativas e anti cópia, marcas de água, fios de segurança, elementos de variação ótica, marcadores, técnicas de impressão e outros.

Visto que os metais conferem uma maior dificuldade para incorporação de elementos de segurança em comparação a outros produtos devido ao grau de dureza, as possibilidades ficam restritas à área da marcação e gravação.

Um dos principais objetivos do projeto UniqueMark®, através da dispersão aleatória das partículas de diamante é a possibilidade de implementar mais um forte elemento de segurança na marcação de objetos preciosos, modernizando uma técnica antiga e transformando-a num forte elemento de segurança. O mesmo projeto também está a desenvolver uma marcação feita a laser com traços feitos através de algoritmos específicos e que também oferecem uma marca única e impossível de reproduzir. Assim, pode-se oferecer ao consumidor a possibilidade de registar o padrão com a identificação do seu proprietário. Funciona basicamente como uma espécie de “impressão digital” e visa criar um sistema para dotar um artefacto de metal precioso com uma marca exclusiva, não clonável e irreproduzível. Por outro lado, também se pretende construir um sistema para a validação da autenticidade através de uma base de dados de segurança, exclusivamente alimentada pela INCM, ou informações adicionadas pelo fabricante.

### **3. UniqueMark® em outro contexto Forense**

#### **3.1. UniqueMark® - método secundário de identificação em desastres em massa**

Este projeto ambiciona, por um lado, aplicar um elemento de segurança inovador tendo como base uma técnica centenária e tendo como objetivo principal a proteção dos consumidores e o combate à falsificação, que permitirá distinguir rapidamente uma peça verdadeira de uma imitação, podendo assim ser utilizado como mais uma ferramenta que poderá ser utilizada também pelas forças de segurança no combate à criminalidade. Por outro lado, poderá vir a ser uma mais valia em casos de identificação pessoal em desastres de massa, através do uso de materiais não biológicos para o rastreio e identificação individual. Cada desastre, natural ou causado pelo homem, apresenta um conjunto diferente de circunstâncias e, como consequência, cada evento resulta em novos desafios para as equipas de identificação. Embora seja complicado estabelecer o número exato de vítimas em cada desastre, o que se sabe é que os incidentes em massa exercem um impacto oneroso sobre os recursos locais para que todos sejam encontrados, identificados e entregues às famílias (Kulkarni & Bakal, 2018). Nas últimas décadas foi possível observar um índice elevado de desastres naturais como terremotos, tsunamis, furacões, cheias, incêndios florestais e outros tipos de catástrofes causadas pelo homem, como acidentes de aviação, viação, atentados terroristas, guerras, quedas de edifícios e cada vez com mais frequência os naufrágios de barcos com pessoas que se tentam refugiar em países mais desenvolvidos em busca de uma nova vida; todos estes eventos envolvem um grande número de vítimas (Olivieri *et al.*, 2017).

O terremoto seguido de maremoto ocorrido em 1755 que atingiu maioritariamente a cidade de Lisboa e também algumas zonas da Setúbal e do Algarve, destruiu grande parte da baixa de Lisboa e fez um número aproximadamente de 30.000 vítimas mortais; nessa altura o estadista Marquês de Pombal terá dito para “enterrar os mortos e cuidar dos vivos”. Atualmente tal procedimento não seria possível.

Nos dias que correm para ser possível enterrar os mortos é necessário fazer a identificação de cada vítima, uma vez que o direito à identidade é de todos os cidadãos. Esse imperativo de identidade é citado várias vezes no direito internacional, bem como na legislação, assim também como na legislação da união Europeia e no Código Civil Português. Para

além da necessidade de identificar vítimas em desastres, também é imprescindível identificar cadáveres de pessoas desconhecidas que chegam aos institutos de medicina legal e que têm igual direito à identidade.

### **3.1.1. Artigos legais relacionados aos direitos humanos**

- Declaração Universal dos Direitos do Homem (Art.º 1.º, 3.º, 6.º, 18.º e 22.º);
- Princípios Orientadores Relativos aos Deslocados Internos;
- Princípios Relativos a uma Prevenção Eficaz e à Investigação das Execuções Extrajudiciais;
- Convenção para a Proteção dos Direitos Humanos e das Liberdades Fundamentais (Conselho da Europa) – Art.º 5.º, 8.º, 9.º;
- Acordo Relativo à Trasladação de Corpos de Pessoas Falecidas;
- Convenções de Genebra de 1949 e aos seus Protocolos Adicionais de 1977;
- Termo da personalidade – Art.º 68.º;
- Direitos de personalidade – Art.º 70.º e seguintes;
- Curadoria provisória – Art.º 89.º e seguintes;
- Morte presumida – Art.º 114.º e seguintes;
- Abertura da sucessão – Art.º 2031.º e seguintes.

### **3.1.2. Identificação de vítimas**

Para iniciar uma abordagem neste tema, há que se compreender as diferenças entre identidade, identificação e reconhecimento. A identidade constitui-se como um conjunto de caracteres que, delimitados legalmente, tornam a pessoa ou um bem individualizado e particularizado, diferenciando-o dos demais. A identificação são os meios utilizados para se determinar a identidade. Já o reconhecimento é feito por um familiar ou pessoa conhecida e serve apenas para afirmar ou confirmar a identificação feita por profissionais da área (Carneiro *et al.*, 2017). As vítimas de um desastre em massa são identificadas com base na avaliação de múltiplos fatores. O grau em que os corpos são danificados, o tempo em que os corpos foram expostos e as alterações associadas nas condições dos corpos influenciam a natureza e a qualidade dos dados *post mortem* e a aplicabilidade de métodos específicos de identificação. Os métodos de identificação usados em casos de desastres devem ser cientificamente sólidos, confiáveis e aplicáveis sob condições de campo e capazes de serem implementados dentro de um período razoável.

### 3.1.3. Processo inicial

A primeira etapa é a análise das impressões digitais e palmares por especialistas de laboratórios de polícia forense. As impressões digitais recuperadas serão inseridas no sistema AFIS para comparação com os dados existentes. Numa segunda fase, os corpos serão fotografados e é feita uma extensa descrição externa do corpo, roupas e pertences pessoais. Todos esses itens são fotografados preferencialmente a cores após serem limpos e etiquetados, com o número do corpo de referência claramente visível. Bens pessoais como documentos, joias, relógios, roupas e conteúdo de bolso podem constituir uma prova circunstancial de identidade valiosa, mas nunca prova única de identificação. Estes objetos devem ser combinados com outras evidências para concluir uma identificação positiva.

Na etapa seguinte, o patologista inicia o exame externo e interno e a descrição do corpo. Deve ser prática padrão realizar autópsias completas em todas as vítimas de desastres, não apenas para fins de identificação e determinação de causa da morte, mas também para auxiliar na prevenção ou minimização dos efeitos de incidentes semelhantes no futuro (Pittayapat *et al.*, 2012).

### 3.1.4. Métodos primários

Os meios primários e mais confiáveis de identificação são a análise de impressões digitais, a análise dentária comparativa e a análise de DNA. Um dos métodos que também é considerado primário, devido a confiabilidade e fortes identificadores em termos de prova de identidade, é o do uso dos números de série exclusivos de implantes médicos. Em muitos destes acidentes os corpos encontram-se irreconhecíveis por ações físicas, químicas, mecânicas ou biológicas podendo ser encontrados carbonizados, em adiantado estado de decomposição ou mutilados, o que dificulta a identificação das vítimas (Carneiro *et al.*, 2015).

Em muitos desastres como desmoronamento de prédios, acidentes de viação ou ferroviários em que muitos corpos ficam relativamente preservados, é possível fazer o reconhecimento visual por meio de características específicas ou intrínsecas de cada indivíduo como cicatrizes, tatuagens, sinais de nascença no corpo, da roupa e dos objetos pessoais (Araujo *et al.*, 2013).

### 3.1.5. Métodos secundários

Os métodos secundários são meios de identificação que servem para apoiar a identificação por outros meios e normalmente não são suficientes para serem usados como único meio de identificação e não podem ser independentes para provar a identidade das vítimas de desastres.

Os identificadores secundários são frequentemente usados para complementar os identificadores primários. Para garantir que as vítimas sejam identificadas o mais rápido e eficientemente possível, são criadas equipas multidisciplinares de especialistas em patologia, odontologia, radiologia e especialistas em impressões digitais e DNA, estas equipas são procedentes de vários países e trabalham em conjunto para obter o maior número de identificações possíveis. Os meios secundários de identificação incluem descrição pessoal, achados médicos, tatuagens, bem como propriedade e roupas encontradas no corpo. Esses meios de identificação servem para apoiar identificação por outros meios e normalmente não são suficientes como único meio de identificação (embora dependendo das circunstâncias, possa haver algumas exceções). Como por exemplo na queda de um helicóptero na Malásia em 2015, que levou a morte dos seis passageiros que estavam na aeronave (Khoo *et al.*, 2016). Quatro destes passageiros foram identificados com o auxílio de métodos secundários de identificação como descrito na tabela 2.

Tabela 2 - Identificadores secundários

Vítima	Identificadores secundários
1	Única passageira do sexo feminino
2	Chave do carro Mercedes Benz com um parafuso exclusivo anexado
3	Deformidade no pé esquerdo
4	Pulseira usada no pulso esquerdo
5	Tatuagem em formato de palmeira no peito
6	Traje tradicional malaio correspondente a última fotografia tirada antes de embarcar na aeronave

A identificação com base em fotografias pode ser notoriamente não confiável e deve ser evitada como único meio de identificação. A identificação visual por uma testemunha pode fornecer uma indicação de identidade, mas não é suficiente para a identificação positiva das vítimas de um desastre de grande escala, pois as vítimas podem estar desfiguradas, resultando na comparação visual não confiável. O desgaste psicológico que

é sofrido por familiares envolvidos no confronto com o morto, também torna essa forma de identificação pouco confiável. Todos os dados *post-mortem* obtidos de corpos são avaliados com referência às informações obtidas sobre pessoas desaparecidas. Como é impossível saber com antecedência quais os dados que podem ser obtidos dos corpos e quais as informações que podem ser obtidas para fins de comparação no local de residência da vítima, todas as informações disponíveis devem ser recolhidas e documentadas. A qualidade de ambos os dados recolhidos devem ser do mais alto padrão possível, com processos de qualidade estabelecidos antecipadamente na operação (INTERPOL, 2018).

Qualquer método secundário que possa auxiliar na identificação de vítimas é extremamente útil nestes casos. A utilização de joias para o fim de identificação já vem sendo estudada e aplicada, contudo, de formas diferentes. Um dos métodos estudados é a aplicação de espectroscopia Raman que utiliza a pigmentação das peças para identificar a sua origem, porém esta técnica pode apenas indicar a proveniência do metal, sem identificar o seu proprietário (Coupry & Brissaud, 2007).

## **4. Materiais e métodos**

### **4.1. Reagentes, materiais e amostras**

Para testar a reação das marcações foi necessário adquirir e preparar amostras e reagentes, assim como registrar a sua composição e proveniência.

O cloreto de sódio (NaCl 5%), o ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH 5%), o carbonato de sódio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 5%) o etanol (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH 60%) e a sacarose (C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub> 50%) foram adquirida da Merck KGaA, Darmstadt, Germany e o ISO-Octano e o Tolueno (FUEL B) foram adquiridos da VWR Chemicals, LLC. Para a preparação da solução ácida e alcalina todos os reagentes foram adquiridos da Merck KGaA, Darmstadt, Germany. A preparação da solução ácida (NaCl; NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O; C<sub>6</sub>H<sub>9</sub>O<sub>2</sub>N<sub>3</sub>, HCL, H<sub>2</sub>O) e alcalina (C<sub>6</sub>H<sub>9</sub>O<sub>2</sub>N<sub>3</sub>H, HCL, H<sub>2</sub>O; NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O e NaOH) foi efetuada com reagentes adquiridos da Merck KGaA, Darmstadt, Germany

Os grânulos compostos por uma mistura de cascas trituradas, casca de coco, casca de amêndoas, casca de amendoim e cascas de nozes e a pasta abrasiva foram adquiridas já preparadas da Zipor - Equipamentos e Tecnologia Industrial S.A; Ester 8%, ácido octadecanoico 3%, parafina hidratada 35%, Polietilenoglicol-cetil 2%, dióxido de silicone 48% e água desionizada 9%.

Como amostras foram usadas doze medalhas de prata 925, adquiridas na Ourivesaria Jardim Lda. (Portugal), todas de igual forma e tamanho com pesos muito semelhantes e oriundas do mesmo lote de fabrico.

Também foram marcadas mais 7 amostras diferentes; três delas em ouro, uma de prata e duas moedas correntes para que se possa avaliar os efeitos dos testes realizados em diferentes materiais, sendo que destas 19 amostras, 3 foram utilizadas como referência “controlo” e permaneceram acondicionadas em laboratório com ambiente climatizado à temperatura de 25°C (±3°C) e humidade relativa de 50% (±10%) a fim de que se manterem o mais possível a sua integridade para comparação final com as peças ensaiadas a nível de massa e visualização do padrão de dispersão até ao final de todos os testes realizados.



## **4.2. Testes de durabilidade da incrustação das porções de diamante nos metais**

Para garantir que os produtos com a marca UniqueMark®, possam ser utilizados por um longo período, as amostras foram sujeitas a testes de resistência físicos e mecânicos. Estes testes simulam o esforço sofrido pelos objetos que são utilizados com muita frequência, como: torção, flexão, impacto, pressão, abrasão e muitos outros tipos de desgaste que podem ocorrer durante a sua vida útil.

Para avaliar a estabilidade e durabilidade do padrão de dispersão das partículas de diamante incrustadas no metal, foram selecionados vários testes de resistência que são utilizados em rotina pela INCM para testar a durabilidade dos seus produtos. Os testes foram adaptados para as amostras em metal, todos de acordo com as normas ISO e normas da União Europeia.

### **4.2.1. Teste de uso diário**

Este teste corresponde à medição do desgaste de uma peça usada diariamente; a título de exemplo podemos considerar o uso de um anel ou aliança que raramente são retirados para a realização das tarefas diárias e são submetidas a vários tipos de contactos com materiais e reagentes. Também a ação de substâncias tais como, cremes hidratantes, maquilhagens, cloro, detergentes, cosméticos, bronzeadores, água do mar e muitos outros materiais abrasivos e corrosivos, associados ainda à fricção sofrida pelo contacto com a própria pele e com vários tipos de superfícies duras, ásperas, rugosas e cortantes a que as peças estão sujeitas, podem influenciar no desgaste do metal e na queda das partículas de diamante.

As peças utilizadas neste teste representadas na tabela 3, são de uso diário e foram marcadas e pesadas para determinar a perda de massa e o seu padrão registado várias vezes durante o período de uso.

Tabela 3 - Algumas peças utilizadas para o teste do uso diário

Peças utilizadas para determinação do desgaste por uso diário					
Quantidade	Amostra	Imagem da amostra	Material	Nº de marcações avaliadas	Massa inicial
1	1-Anel		Ouro 999	2	***
1	2-Aliança		Ouro 999	2	1.566g
1	3-Pendente Estrela		Ouro 750	2	0.907g
1	4-Medalha C		Prata 800	3	1.428g
1	5-Aliança		Prata 925	2	2.115g
1	6-Moeda Corrente 2€		Cu 75%; Ni 25%	5	8.461g

Todas as peças foram utilizadas em todas as tarefas diárias durante 318 dias sem serem retiradas por qualquer motivo, com exceção do tempo necessário para a captação de imagens pelo microscópio eletrónico de varrimento (MEV) e pelo Microscópio Digital, nunca ultrapassando 48 horas mensais para esta análise.

Para efeitos de comparação, todas as marcas foram registadas através de imagens retiradas por microscopia eletrónica de varrimento e microscopia digital antes do início do uso, bem como a recolha de imagens aproximadamente de 30 dias em 30 dias durante o período deste trabalho.

#### **4.2.2. Suntest**

O simulador de exposição à luz solar e radiação Suntest representado na figura 18, tem por finalidade reproduzir e abreviar o processo de desgaste de um objeto desprotegido das condições ambientais. De acordo com o fabricante do equipamento e estudos realizados na INCM cada ciclo de 170 horas é equivalente a aproximadamente 68 dias de exposição à luminosidade e radiação do sol. Foram cumpridos dois ciclos completos o que corresponde a cerca de 135 dias de exposição.

Na prática, este procedimento é utilizado para determinação da solidez da cor de um determinado material e a alteração do seu aspeto visual, quando exposto a uma luz artificial (lâmpada xénon) representativa da luz natural (D65) que é um iluminador padrão comumente usado e definido pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE). Faz parte da série D de iluminadores que tentam retratar as condições de iluminação padrão ao ar livre em diferentes partes do mundo (McGreer, 2003).



Figura 18 - Equipamento Suntest

Os processos de análise apresentados neste trabalho baseiam-se nas especificações representadas na tabela 4, da norma ISO 105-B02 e 24789 que se aplicam a todo o tipo de materiais sólidos.

O resultado normalmente é obtido nos materiais testados por comparação visual ou recorrendo a um espectrodensitómetro, aparelho para medição da diferença de tonalidades. De acordo com o manual do fabricante do equipamento, 1200 horas de exposição na Suntest equivale a um ano de exposição solar natural. Este teste foi realizado

num período de 340 horas (dois ciclos de 170 horas), o que equivale a cerca de 4 meses e 15 dias (135 dias) de exposição a luz solar e temperatura ambiente.

Tabela 4 - Condições do equipamento Suntest XLS/XLS+

Condições do equipamento Suntest XLS/XLS+	
Luz do dia	D65
Controlo de radiação	300nm – 800nm
Duração da fase	60min
E [W/m²]	350w
BST (Teste padrão preto)	47 °C
Temperatura da câmara	33 °C
Tempo do ciclo	170hs

#### 4.2.3. Exposição natural

Considerando que não é possível recriar na Suntest outros efeitos frequentes na natureza, tais como humidade, vento, chuva, poluição, ruído e pressão atmosférica, optou-se por expor uma das amostras a estas condições climáticas em Lisboa no decorrer do período de 15 de julho a 31 de outubro (115 dias), período em que a temperatura mínima registada foi de 10° C e a máxima de 39° C, com chuvas ocasionais e humidade relativa entre os 30% e os 90%. Desta forma foi possível observar os efeitos causados pela radiação da luz solar associados a outros fatores climáticos.

#### 4.2.4. Exposição aos ultrassons

O equipamento de ultrassons possui no seu interior um gerador que produz vibrações sonoras de alta frequência não perceptíveis ao ouvido humano, que podem ser de 20.000 a 10.000.000 ciclos por segundo (Hz) e são transmitidas para os recipientes através de um transdutor. Para isso uma das peças foi exposta a ultrassons, como na figura 19, iniciando com 20.000 ciclos por segundo durante 30 minutos, logo a seguir foi feita uma leitura no microscópio para ver se houve alterações, aumenta-se gradativamente o tempo de exposição para 60 minutos, 120 minutos e 180 minutos, com uma leitura ao microscópio no fim de cada ensaio.

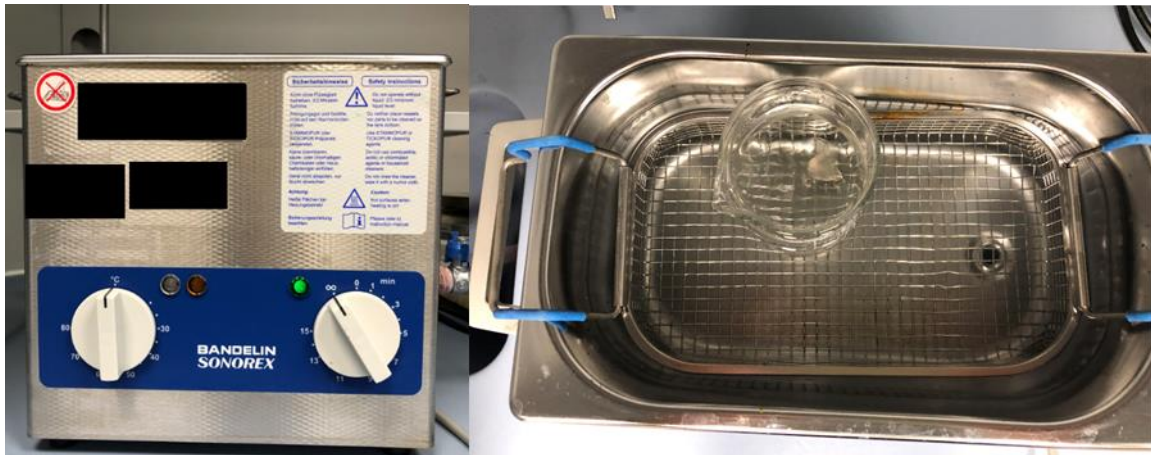


Figura 19 - Equipamento de ultrassons

#### 4.2.5. Desgaste em tambor rotativo

Este teste foi elaborado para reproduzir de modo rápido o desgaste em função do tempo que naturalmente levaria anos para ocorrer em uso diário. O equipamento de abrasão, representado na figura 20, é utilizado para realizar testes aos metais segundo a norma EN 12472/2005 + A1 de testes de corrosão. Devido à sua própria natureza, esta é uma solução prática para os problemas da avaliação de artigos de metal, principalmente os que são revestidos e que se encontram em contacto com a pele (Martinez, 2004), logo, uma boa solução para testar a durabilidade das marcas UniqueMark®, num ambiente extremamente agressivo para qualquer objeto. As especificações deste equipamento estão representadas detalhadamente na tabela 5, onde estão descritas algumas condições que foram utilizadas ao longo dos testes.



Figura 20 - Tambor rotativo

Tabela 5 - Especificações do tambor rotativo

Equipamento para teste de corrosão modelo EL-58	
Diâmetro do tambor	19 cm
Sistema interno	6 provetes
Velocidade do teste	30 RPM
Duração standard	5 horas
Inversão do eixo	Após 2,5 horas

De acordo com a norma Europeia este equipamento deve ser composto por três módulos essenciais.

- **O Tambor de abrasão:** tambor de configuração hexagonal, diâmetro de 19cm, projetado para girar em torno do seu eixo que se encontra orientado horizontalmente.
- **Sistema interno de fixação de provetes:** estrutura de retenção que fica instalada no interior do tambor de abrasão e tem como finalidade permitir a fixação adequada dos provetes de forma a garantir que os mesmos não entram em contacto entre si ou com a estrutura de fixação durante o processo de abrasão.
- **Máquina de abrasão:** equipamento capaz de girar o tambor de abrasão a uma velocidade constante de  $30 \pm 2$  rotações por minuto. De acordo com a norma a duração standard do processo é de  $5\text{hs} \pm 5$  minutos o sentido de rotação é invertido a cada  $2,5\text{hs} \pm 5$  minutos.

O contentor da figura 21 é um recipiente com uma tampa e um dispositivo para suspender as peças de teste. Todas as peças são feitas de material inerte (por exemplo, vidro ou plástico) e nelas são colocadas as amostras para realização do teste.

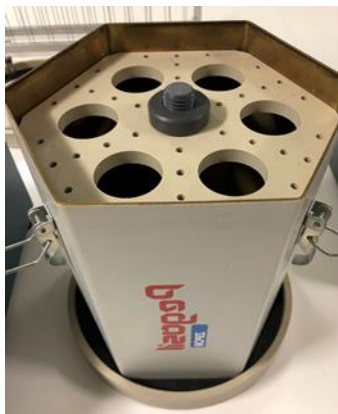


Figura 21 - Interior do tambor de abrasão

#### **4.2.5.1. Preparação de desgaste médio**

Para este ensaio é necessário preparar o composto que incide sobre as amostras para se estudar o efeito de desgaste. Tendo sido adquirida a pasta abrasiva ao fabricante do equipamento, não foi necessário realizar a preparação da mesma.

O grânulo constituído por vários tipos de cascas de frutos secos também foi adquirido junto ao fabricante do equipamento, sendo assim necessário proceder apenas a mistura dos dois elementos (pasta e grânulos) para o procedimento.

Para preparar a mistura adicionada ao tambor; foi pesada uma quantidade suficiente de grânulos para encher o tambor até a metade de sua profundidade. Utilizou-se 7,5g de pasta abrasiva para cada quilograma da quantidade total de grânulos.

Usando equipamento de proteção individual apropriado e luvas de proteção, foi adicionada a pasta abrasiva a cerca de 10% dos grânulos pesados, foi homogeneizado completamente à mão até que não houvesse pasta abrasiva visível, como representado na figura 22. Foi adicionado o restante dos grânulos pesados e continuou-se a homogeneizar a mistura completa girando-a no tambor rotativo por 5 horas.

Deve-se manter o meio de desgaste num recipiente fechado até ser usado e entre utilizações. Em alteração ao protocolo das quantidades necessárias para o tambor, foram realizados os cálculos para que o ensaio fosse realizado em provetes, devido ao tamanho da amostra.

Para 100g de grânulos usou-se 0,75g de pasta abrasiva num provete de 150ml. Após o primeiro ciclo efetuou-se a captação e registo da imagem no microscópio digital.

Como não se observou nenhuma alteração na massa e no padrão de dispersão, foram efetuados mais 3 ciclos de 5 horas com o mesmo procedimento sem haver alterações na amostra; ao 5º ciclo passamos a adicionar mais 0,75g de pasta abrasiva aos grânulos do provete; depois de 10 ciclos o que de acordo com a norma é equivalente a 20 anos de desgaste por uso.



Figura 22 – Mistura da pasta abrasiva com os grânulos

Complementarmente a este estudo, numa fase posterior e sem ter por base qualquer referência em normas, adicionou-se ao provete a amostra com 115g de pedras com areia, representada na figura 23, e realizou-se um ciclo de 5 horas. Depois da captação de imagens adicionou-se às pedras 0,80g de pasta abrasiva e deixou-se durante um ciclo completo no equipamento de abrasão com a intenção de perceber a extensão dos danos causados por este material.



Figura 23 - Provete com pedras e areia



#### 4.2.6. Testes químicos

Este procedimento descreve a metodologia a seguir para a realização do ensaio de resistência aos químicos (N 10373-1). O objetivo deste teste é determinar os efeitos adversos que possam danificar o padrão de dispersão.

O primeiro teste é de contaminação de curto prazo com exposição a 7 tipos de reagentes. A amostra é inicialmente preconditionada durante 24 horas a uma temperatura de  $23 \pm 3^\circ\text{C}$  e humidade relativa entre 40 e 60%. Para este teste foram utilizados os reagentes referidos na tabela 6.

Tabela 6 - Reagente utilizados nos testes químicos

Reagentes			
Fórmula química	Composto químico	Volume	Volume final
NaCl 5%	Cloreto de sódio	25g	500 ml
CH <sub>3</sub> COOH 5%	Ácido acético	25 ml	500ml
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 5%	Carbonato de cálcio	25g	500ml
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH 60%	Etanol	300ml	500ml
C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> 10%	Sacarose	50g	500ml
HOCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH 50%	Etileno glicol	500ml	500ml
FUEL B	ISO-Octano/Tolueno	700ml ISO Octano/300mL de Tolueno	1000ml

Cada reagente foi pesado conforme especificação, colocado em balão volumétrico e completou-se até perfazer a medida indicada na tabela com água destilada, agitando-se para homogeneizar. Após 1 minuto, removeu-se a peça e limpou-se a superfície passando-a por água destilada e de seguida foi seca com papel absorvente.

De acordo com a norma as variações no aspeto visual da peça desde que não afetem a funcionalidade do objeto em causa, não devem ser razão de inconformidade.

Numa segunda peça foi efetuada uma contaminação de longo prazo em solução de transpiração artificial durante 24 horas.

- SOLUÇÃO ALCALINA: Pesou-se 5 g de NaCl, com 0.5 g de C<sub>6</sub>H<sub>9</sub>O<sub>2</sub>N<sub>3</sub>H, HCl, H<sub>2</sub>O e 2.5 g de Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>2H<sub>2</sub>O, colocou-se num balão volumétrico de 1000 mL,

perfez-se o volume com água destilada e agitou-se para homogeneizar. Foi adicionado NaOH, até se obter uma solução com  $\text{pH} = 8$ .

- **SOLUÇÃO ÁCIDA:** Pesou-se 5 g de NaCl, com 2.2 g de  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  e 0.5 g de  $\text{C}_6\text{H}_9\text{O}_2\text{N}_3$ , HCl,  $\text{H}_2\text{O}$ , colocou-se num balão volumétrico de 1000 mL, perfez-se o volume com água destilada e agitou-se para homogeneizar. Adicionou-se NaOH, até se obter uma solução com  $\text{pH} = 5.5$ .

#### **4.2.7. Teste das câmaras climáticas (resistência a temperaturas extremas)**

Estes equipamentos são dotados de controladores que, por isso, permitem manter no seu interior as condições de temperatura e humidade relativa predefinidas.

Na figura 24 e na tabela 7 estão representadas a câmara climática modelo fitoclima 300 EDU e as suas especificações, respetivamente.



Figura 24 - Câmara climática modelo fitoclima 300 EDU

Tabela 7 - Especificações modelo fitoclima 300 EDU

Modelo Fitoclima 300 EDU	
<b>Resolução</b>	0.1°C e 0.1 %
<b>Gama</b>	10 a 100°C e 10 a 98%
<b>Ciclos</b>	10
<b>Duração do ciclo</b>	15 minutos
<b>Temperatura de ensaio</b>	77 C°

Na figura 25 e na tabela 8 estão representadas a câmara climática modelo fitoclima 300 ECP e as suas especificações, respetivamente.



Figura 25 - Câmara climática modelo fitoclima 300 ECP

Tabela 8 - Especificações modelo fitoclima 300 ECP

Modelo Fitoclima 300 ECP	
<b>Resolução</b>	0.1°C e 0.1 %
<b>Gama</b>	-45 a 180°C e 10 a 98%
<b>Ciclos</b>	10
<b>Duração do ciclo</b>	15 minutos
<b>Temperatura de ensaio</b>	-32 C°

Este teste de resistência (N 18745-1) sujeita a amostra a um ciclo entre dois extremos de temperatura, está representado na figura 26.

Para este teste foram efetuados 10 ciclos, cada ciclo correspondendo a uma exposição de 15 minutos a temperatura positiva de  $77 \pm 3^\circ\text{C}$  e 15 minutos a temperatura negativa de  $-32 \pm 3^\circ\text{C}$ .

Este ensaio simula o esforço sofrido pelo choque térmico que o material pode experimentar devido à expansão e contração térmica de cada componente do metal.

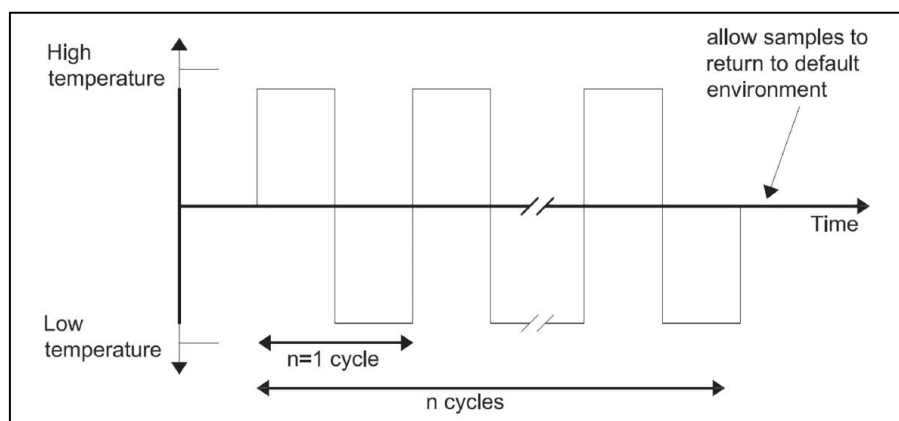


Figura 26 – Ciclo entre os dois extremos de temperatura

O controlo da humidade relativa nas câmaras de temperatura não é necessário para este teste, contudo, foi definido uma humidade relativa de 50% em cada câmara. A câmara de teste esteve localizada num ambiente de teste conforme definido na norma ( $23^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$  e 40 % RH a 60 % RH).

#### 4.2.7.1. Procedimento

- Colocou-se em uma câmara com temperatura controlada de  $77^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$  por 15 minutos.
- Transferiu-se a peça juntamente com o suporte padrão para uma segunda câmara de temperatura controlada mantida a uma temperatura de  $-32^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$  em menos de 60 s (um tempo de transferência de 15 s é recomendado). A posição da peça no suporte não deve ser modificada durante o processo de transferência.
- Submeteu-se o material a uma temperatura de  $-32^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$  por 15 minutos.
- No final do processo cíclico, a amostra foi removida e colocada novamente no ambiente padrão, pelo que a peça foi deixada no suporte e na condição de acordo com a norma. A captação da imagem em microscópio foi feita logo após o teste.

### **4.3. Métodos de Leitura e validação**

Devido à dimensão de cada marca UniqueMark®, é impossível o padrão ser observado sem auxílio de um instrumento ótico.

Assim, para que fosse possível identificar o posicionamento de cada uma das partículas de diamante, que no seu conjunto formam o padrão de dispersão, e efetuar o registo das mesmas e as suas eventuais alterações devido às análises realizadas, foi necessário recorrer à microscopia. Dessa forma foi possível captar imagens após cada ensaio e proceder ao estudo comparativo entre a imagem original e as obtidas ao longo do tempo, bem como com as obtidas dos controlos.

Por forma a determinar se, em alguma etapa do processo, existiram alterações nas amostras marcadas, definiu-se que a captação de imagens seria efetuada recorrendo à microscopia digital e microscopia eletrónica de varrimento (MEV) da seguinte forma:

- Marcas sujeitas ao uso diário - Análise periódica mensal;
- Amostras analisadas em equipamentos – Análise antes e após cada ensaio.

Por conseguinte, através da comparação das características observadas nas imagens ao longo do tempo seria possível detetar o eventual desgaste sofrido e que consequência teria sobre o elemento de segurança em causa (Inkson, 2016).

#### **4.3.1. Microscópio digital**

O equipamento utilizado foi um microscópio digital, portátil (figura 27), cujas especificações técnicas se encontram na tabela 9 e com o qual se captaram as imagens com mais frequência, que permitiu realizar a captação de imagens com mais frequência.

Apesar da sua resolução ser inferior à resolução obtida pela microscopia de varrimento, ao encontrar-se sempre disponível, foi possível a visualização das marcas com boa resolução para acompanhamento da evolução do desgaste.

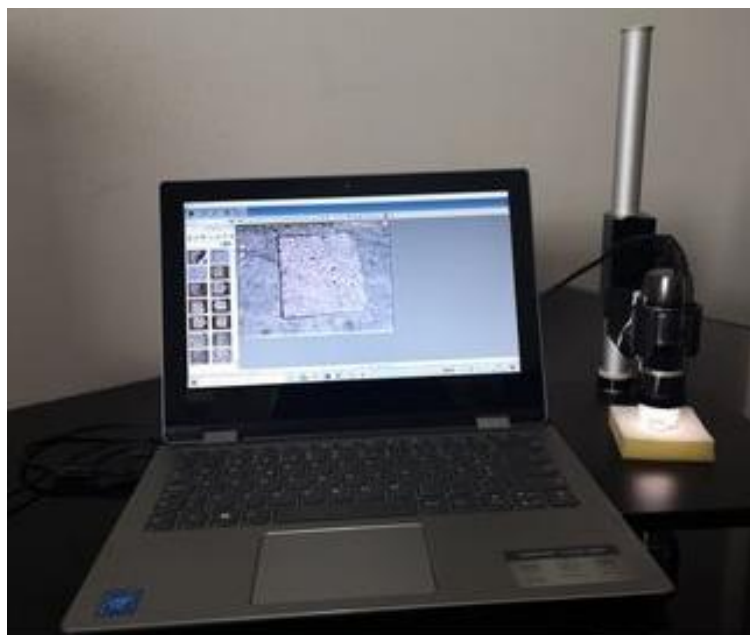


Figura 27 - Microscópio digital portátil

Tabela 9 - Microscópio digital portátil

Microscópio digital Dino-Lite AM4515T8 EDGE	
<b>Ampliação ótica</b>	700-900 x
<b>Distância de trabalho</b>	Padrão
<b>Tipo de lente</b>	Cristal com antirreflexo
<b>Tipo de sensor</b>	CMOS
<b>Resolução</b>	1,3 megapixel (1280x1024)
<b>Taxa máxima de quadros</b>	30 quadros por segundo
<b>Iluminação</b>	LED branco
<b>Número de LEDs</b>	8
<b>Filtro infravermelho</b>	650 nm

#### 4.3.2. Microscopia de varrimento

O microscópio eletrônico de varrimento (MEV) é um aparelho que permite obter imagens da microestrutura e morfologia dos materiais.

O MEV utilizado no presente estudo encontra-se fotografado na figura 28. Neste tipo de microscópio um feixe de elétrons é acelerado pela alta tensão criada entre o filamento e o ânodo, e varre a superfície da amostra ponto a ponto. Para formar uma imagem, os sinais

de receção são produzidos a partir das interações entre os eletrões e a amostra, estes sinais são detetados com diferentes tipos de detetores, dependendo do modo de MEV utilizado.

Deste modo obtém-se uma imagem completa da superfície do objeto a observar. A microscopia eletrónica de varrimento é utilizada principalmente na área da biologia, nesta vertente as amostras necessitam de tratamento prévio como a desidratação e metalização.

Por outro lado, também tem sido utilizada no campo das nanotecnologias para a análise da morfologia e da microestrutura de novos materiais desenvolvidos (Garcia, 2016).



Figura 28 - Microscópio eletrónico de varrimento

O MEV é um instrumento versátil, capaz de visualizar e analisar quase qualquer material, tornando-o num equipamento perfeito para um laboratório forense (Houck, 2013). Consequentemente, pelas suas propriedades, torna-se o meio ideal para a captação de imagens da superfície das nossas amostras. Outra característica do MEV, é a possibilidade de identificação da composição da amostra, que deteta e identifica os diferentes elementos de uma amostra; como por exemplo todos os componentes de uma liga metálica conforme se pode ver na imagem do Anexo 1.

Na figura 29 pode observar-se uma amostra que foi analisada.



Figura 29 - Exemplo de uma amostra que foi analisada no MEV

#### **4.3.3. Aplicação de reconhecimento de padrão de dispersão**

As imagens utilizadas neste processo são as imagens originais capturadas pelo microscópio digital e pelo MEV durante este trabalho. Através de alinhamento, recorte, identificação de partículas e sobreposição obtém-se uma nova imagem, com a qual é possível efetuar a comparação visual e eventual armazenamento do padrão no banco de dados.

Cada marca é processada individualmente, os pontos de referência são identificados manualmente, sendo sempre 4 ou mais pontos situados dentro do quadrado que delimita o punção. As imagens da mesma marca que são capturadas em diferentes tempos têm de ser alinhadas à primeira imagem tratada, para que se possa identificar a localização das partículas com mais facilidade e rapidez. O processo consiste na identificação das partículas correspondentes ao mesmo posicionamento em ambas as imagens para que seja possível calcular uma matriz homográfica equivalente e a seguir é feita a transformação de perspectiva para que as imagens fiquem alinhadas entre si. Pode haver pequenas diferenças na morfologia das partículas, que podem ser causadas por erro do operador, ou pela má qualidade da imagem capturada como se observa na figura 30.



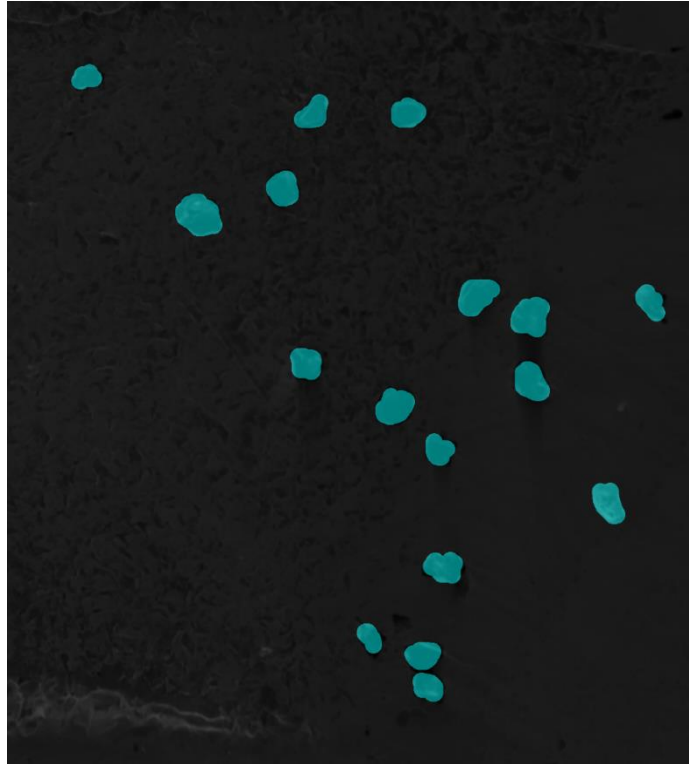


Figura 30 - Aplicação de reconhecimento de padrão de dispersão

A qualidade da imagem original é muito importante neste processo, pois a quantidade de luz, ângulo incorreto, interferentes como pó, fibras, gorduras ou outras partículas que possam estar sobre a marca podem afetar a identificação das partículas de diamante e comprometer a análise do padrão de dispersão.

## **5. Resultados e Discussão**

### **5.1. Resultados dos testes de resistência**

Os resultados obtidos permitem observar a durabilidade do padrão de dispersão em todas as marcas, tendo em conta todos os tipos de desgaste a que estiveram expostas as amostras utilizadas nesta dissertação. O primeiro passo do presente trabalho consistiu em estabelecer as condições instrumentais adequadas. Para isso, e tal como anteriormente referido recorreu-se a testes de durabilidade utilizados pela INCM para certificação de produtos produzidos na Casa da Moeda. Apresentam-se nos pontos seguintes os resultados obtidos em cada tipo de estudo.

#### **5.1.1. Uso diário**

Na figura 31, referente à primeira captação de imagens realizada antes de iniciar o uso quotidiano, é possível identificar claramente a localização e formato de cada partícula de diamante incrustada no metal.

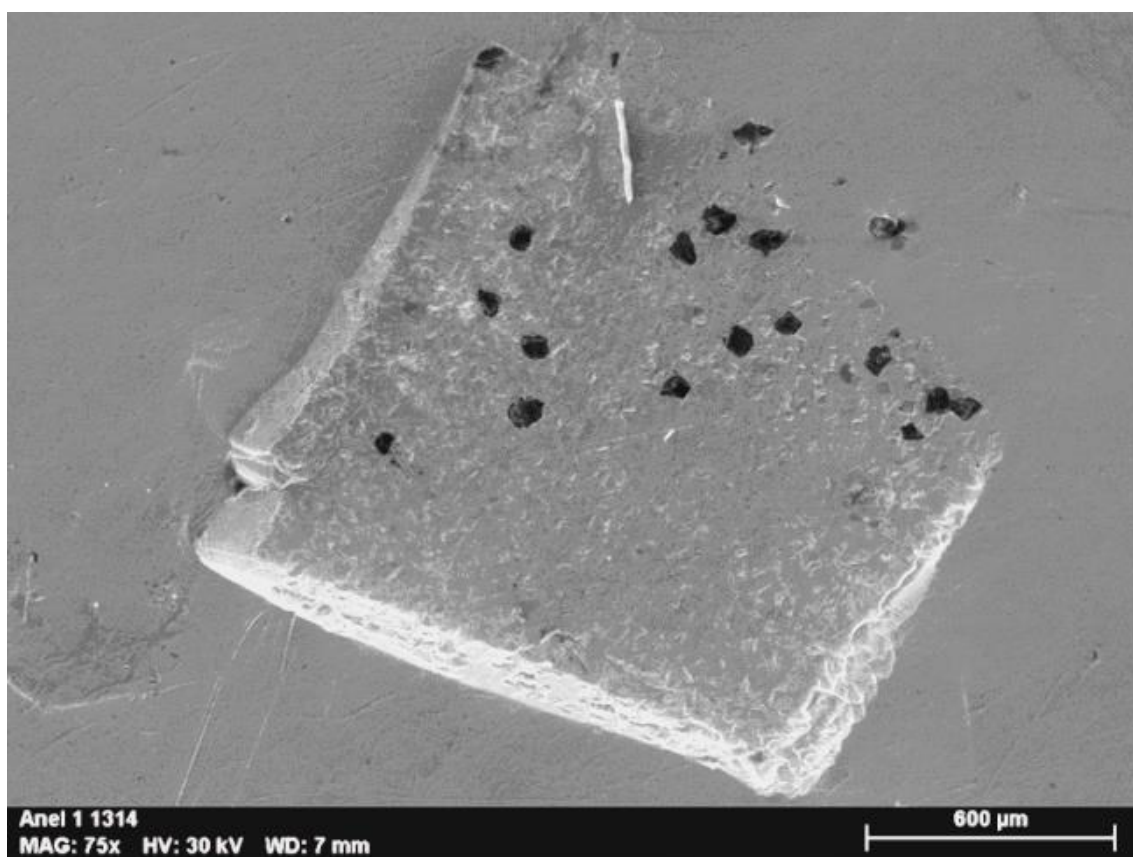


Figura 31 – Imagem do anel de ouro com uso diário (amostra 1), obtida pelo MEV no dia 20.12.2019

Através da comparação desta primeira imagem com as demais retiradas ao longo do tempo (318 dias desde o início até o término desta dissertação), podemos perceber as eventuais alterações sofridas na amostra, nomeadamente o desgaste do metal ou a queda de fragmentos de diamante do padrão ou a existência de outras partículas que possam ser detetadas durante a análise. É válido ressaltar que este trabalho decorreu durante a pandemia da Covid-19, situação esta que veio modificar os hábitos de higiene de toda a população mundial.

Neste período a ser necessário lavar as mãos com uma frequência muito maior do que a habitual, bem como a utilizar-se em larga escala álcool e outros desinfetantes para a higienização das mãos. Estes fatores de exposição como a água e produtos químicos acrescidos ao uso diário podem causar um efeito de maior desgaste nas amostras do que seria habitual em tempos normais.

Nas imagens retiradas após 6 meses de uso diário, figura 32, consegue-se ver claramente as partículas existentes na marca, e até contá-las, o que indica neste caso o tempo e o desgaste não afetaram o padrão de dispersão. Pode-se observar também a existência de riscos produzidos pelo uso diário neste período de 6 meses.

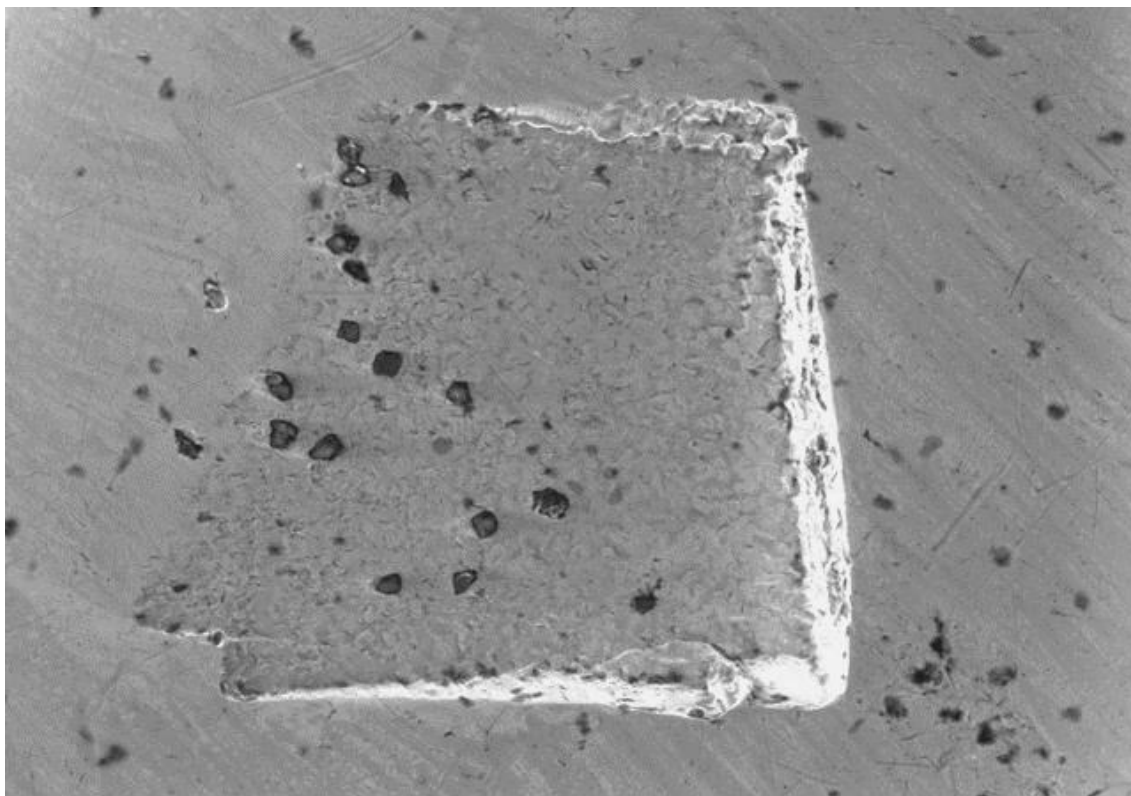


Figura 32 - Imagem do anel de ouro com uso diário (amostra 1), obtida pelo MEV no dia 25.06.2020 com ampliação de 75x

Este anel de ouro possui uma pedra de brilhante como adorno, que segundo a proprietária do anel, caiu no início de outubro, ou seja, aproximadamente 4 meses após a última captação de imagem em 25-06-2020. O anel foi levado a uma ourivesaria para substituir a pedra em falta, onde efetuaram uma limpeza e polimento ao mesmo. Nota-se na figura 33 que o punção nesta peça foi aplicado com uma ligeira inclinação, criando um efeito de rampa, e não um quadrado fechado como seria previsto. O efeito do polimento é visível na última imagem recolhida, onde se observa o desaparecimento da textura na parte superior do interior do punção, mas as partículas de diamante continuam a formar o padrão de dispersão.

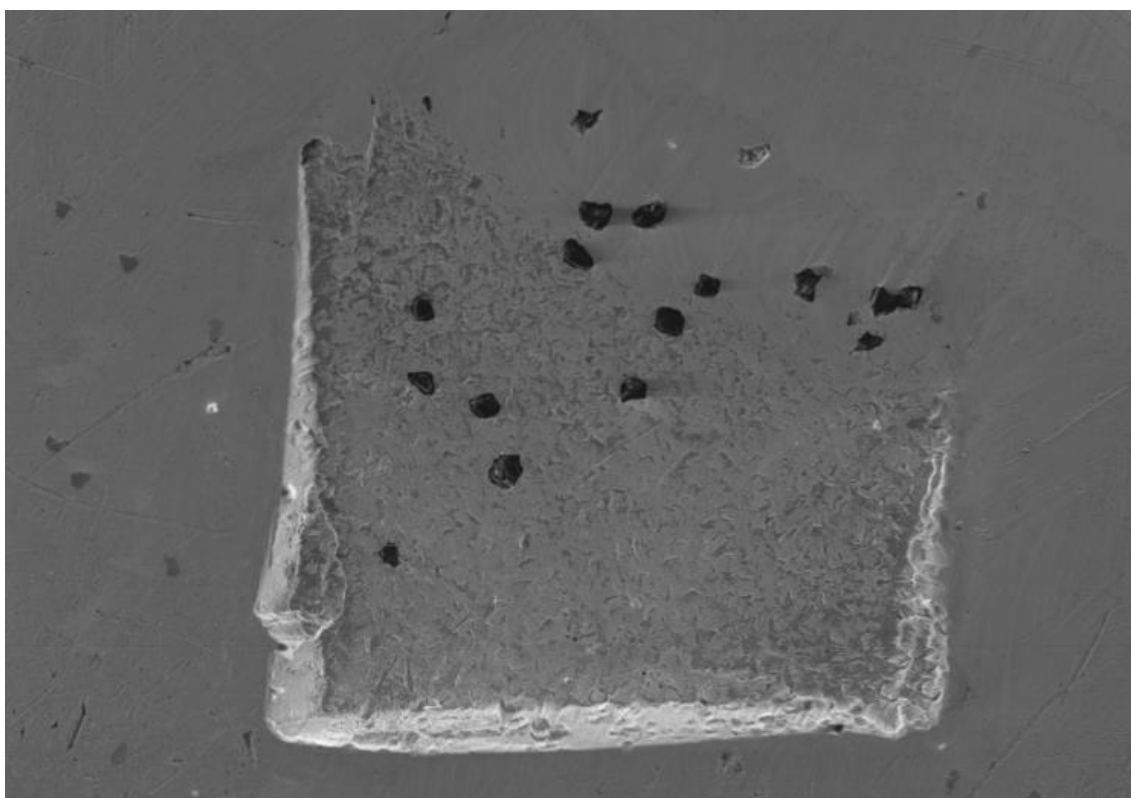


Figura 33 - Imagem do anel de ouro com uso diário (amostra 1), obtida pelo MEV no dia 05.11.2020 com ampliação de 75x

Na imagem seguinte, figura 34, está representado o modelo de máscara de identificação e localização das partículas de diamante existentes na amostra. Desta forma é possível observar de forma rápida e eficaz a presença de todas as partículas ao longo do tempo. As imagens originais e complementares encontram-se no Anexo 2.

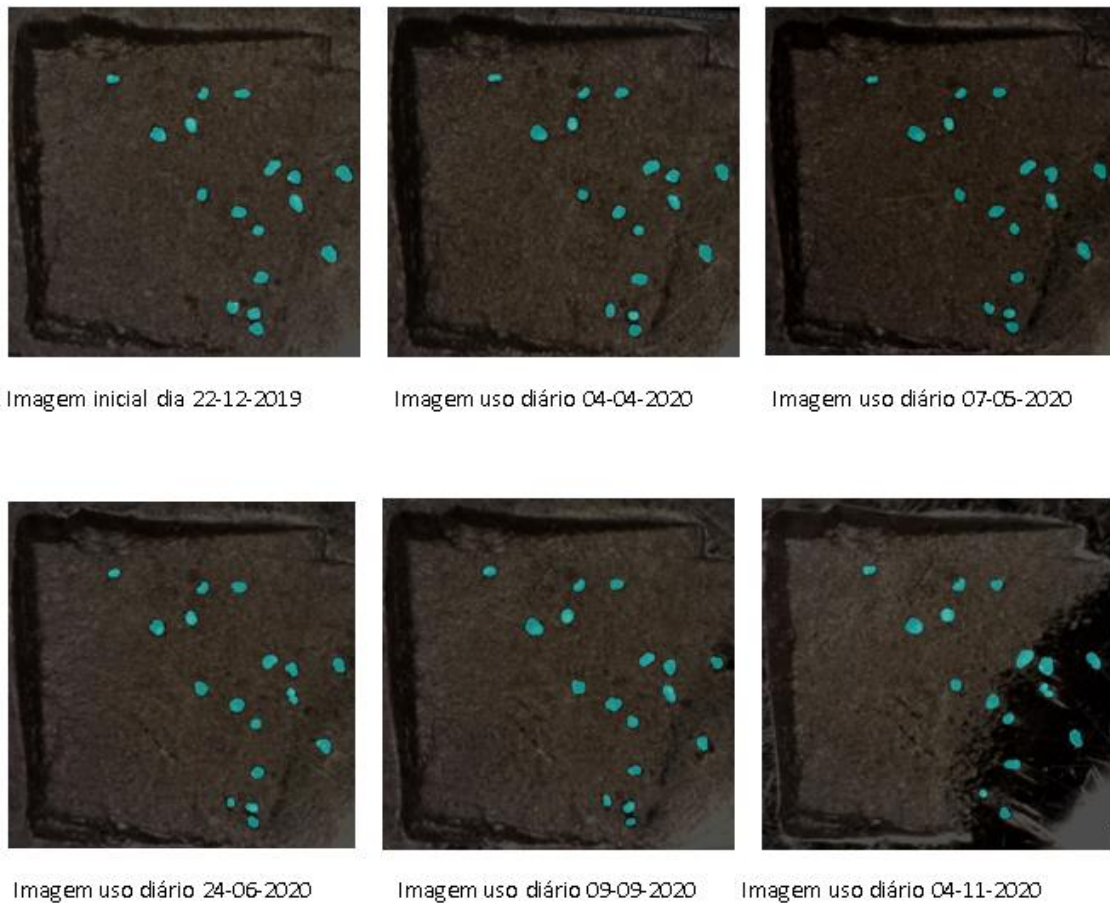


Figura 34 – Imagem da máscara do posicionamento das partículas de diamante na marca ao longo do tempo do anel de ouro (amostra 1)

As demais amostras utilizadas diariamente também foram registradas ao longo do tempo de uso. O tempo total de uso para a análise foi de 318 dias a contar do início do uso diário das peças em 23-12-2019 até o último dia de utilização em 03-11-2020. Na figura 35 são apresentados os resultados em forma de sobreposição de imagens de uma das marcas de uma das amostras utilizadas neste ensaio, sendo a primeira referente à aliança de prata 925. As imagens originais e complementares desta amostra encontram-se no Anexo 3.



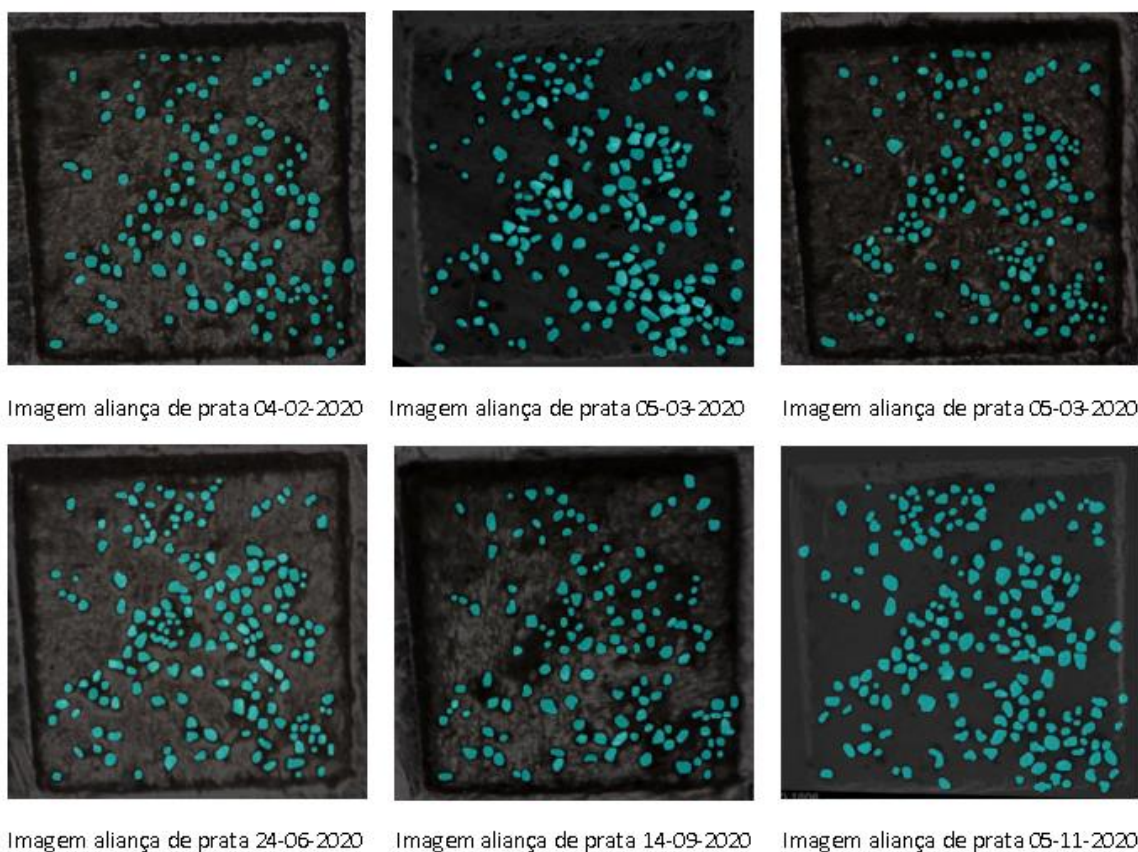


Figura 35 - Imagem da máscara do posicionamento das partículas de diamante na marca ao longo do tempo no anel de prata (amostra 5)

A imagem seguinte, representada na figura 36, é referente à medalha de prata 800 utilizada como pendente numa pulseira. As imagens originais e complementares desta amostra encontram-se no Anexo 4.

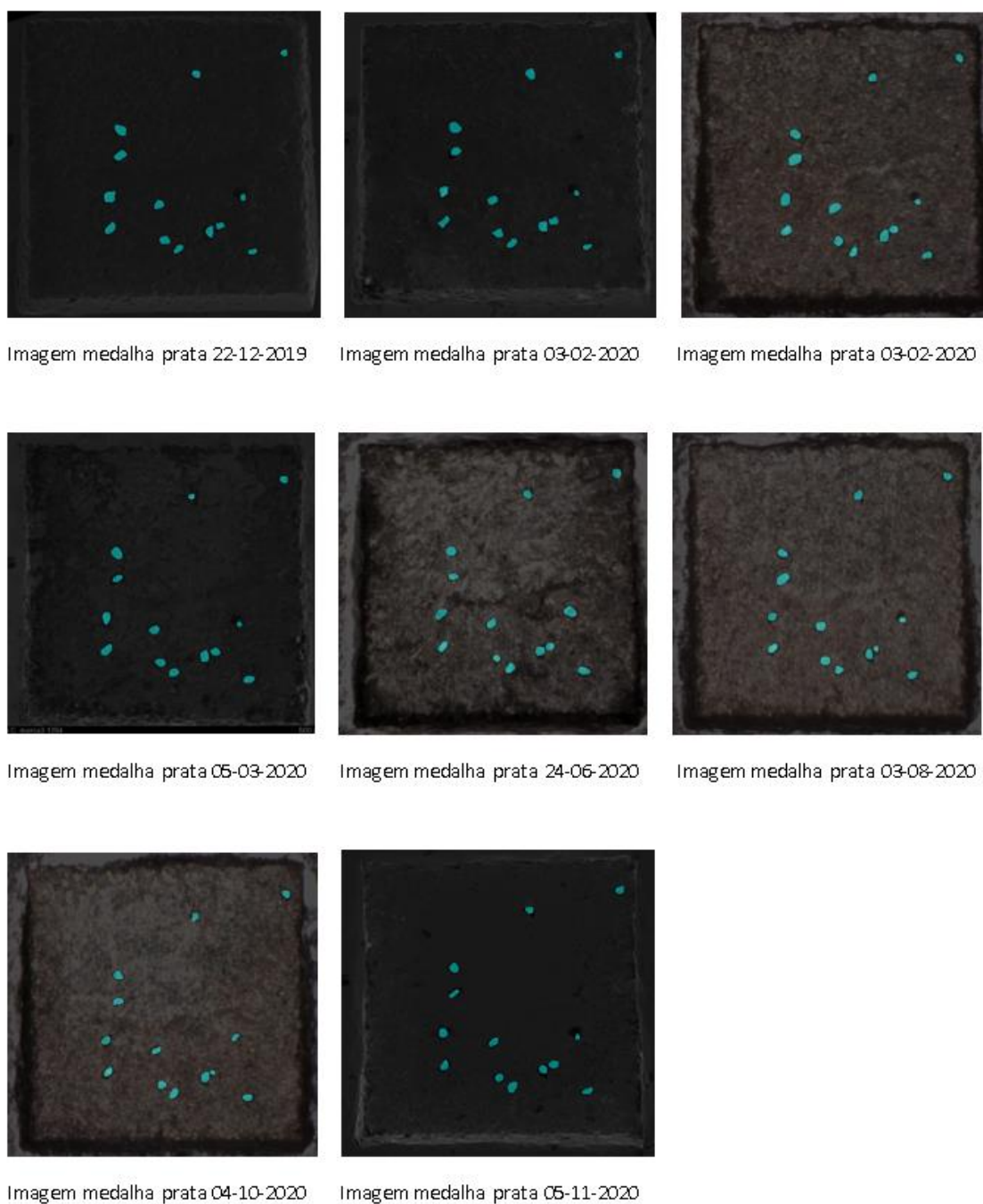


Figura 36 – Imagem da máscara do posicionamento das partículas de diamante na marca ao longo do tempo na medalha de prata 800

A imagem seguinte corresponde a marca de uma moeda corrente (figura 37) utilizada num porta moedas, juntamente com outras moedas para simular o atrito diário a que são expostas. As demais imagens originais e complementares encontram-se no Anexo 5.

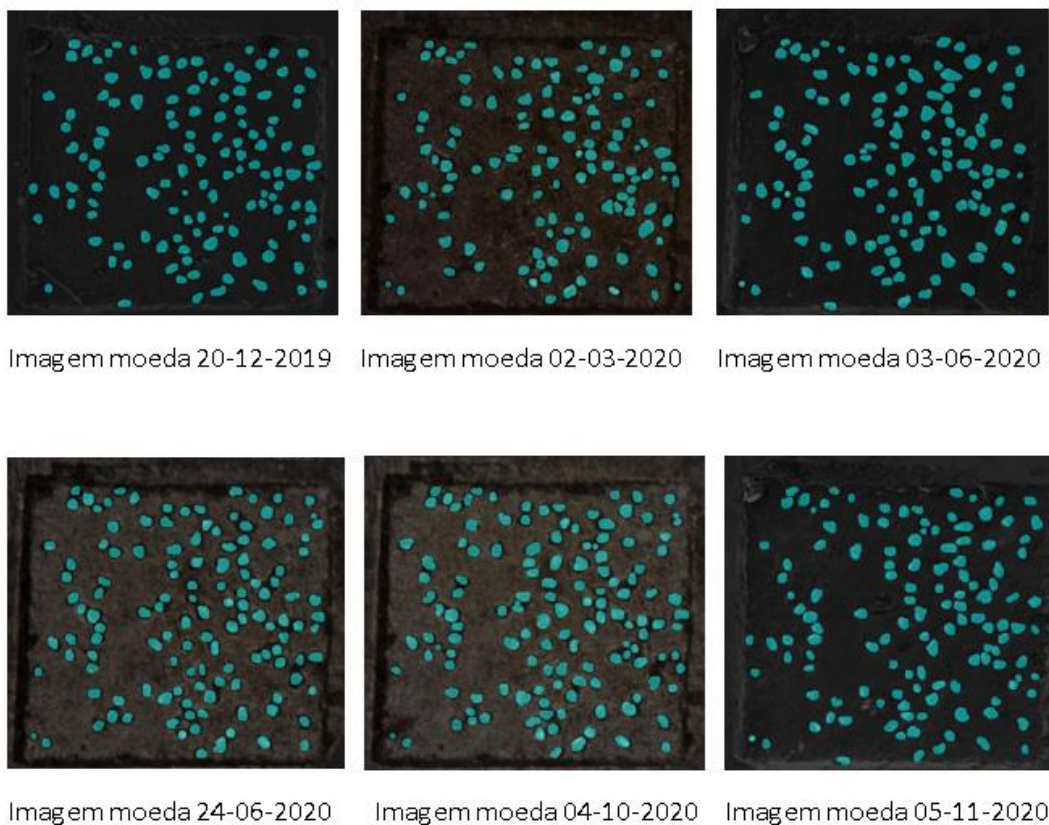


Figura 37 - Imagem da máscara do posicionamento das partículas de diamante na marca ao longo do tempo na moeda de 2€

### **5.1.2. Suntest**

Após o término do ciclo de 340 horas foi possível visualmente perceber que houve uma alteração na coloração e textura do metal da amostra. Contudo, nas imagens obtidas no microscópio de varrimento pode constatar-se, (figura 38) a presença de todas as partículas de diamante e do padrão de dispersão intacto.



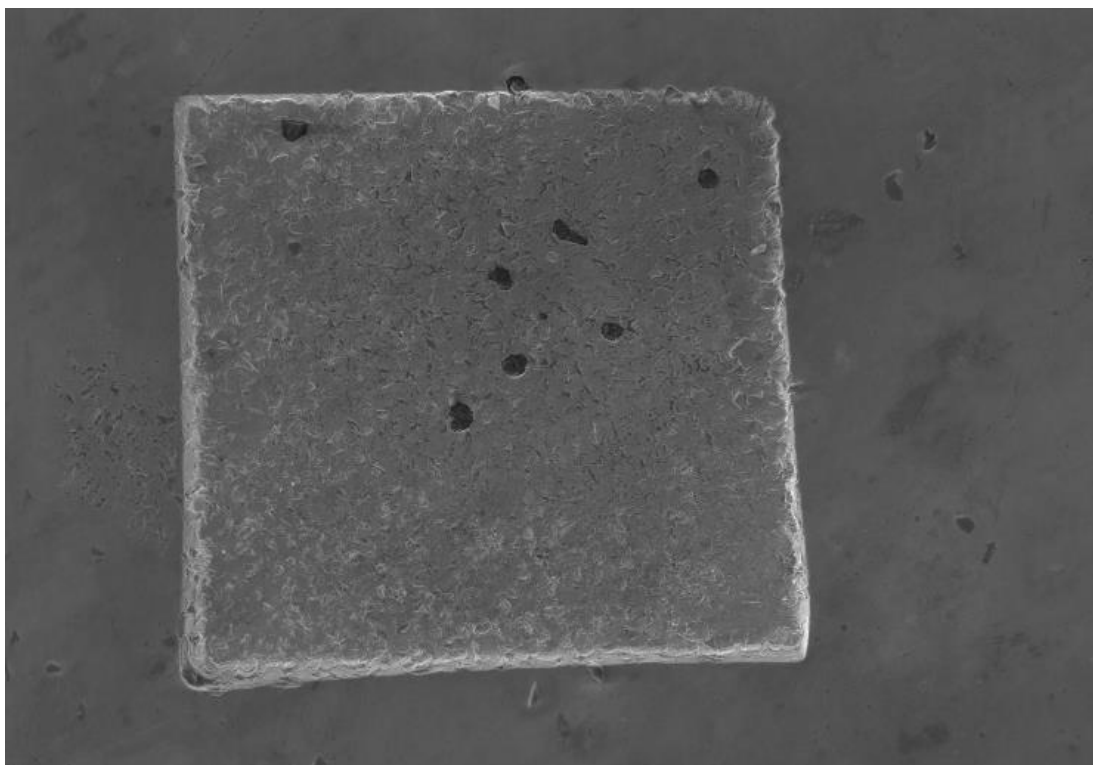


Figura 38 - Imagem da medalha de prata analisada na Suntest, obtida pelo MEV no dia 05.11.2020 com ampliação de 75x

### **5.1.3. Exposição natural**

Nesta experiência, apenas não só o aspeto da peça sofreu alterações, como houve um ligeiro acréscimo de massa (0,002g), possivelmente resultante da oxidação e ganho de impurezas. A amostra está representada na figura 39.



Figura 39 - Amostra exposta à exposição natural (A) em comparação com a amostra controlo (B)

Para este teste não foi necessário nenhum tipo de preparação da amostra e nenhum equipamento específico, tendo-se procedido apenas a captação de imagens por microscopia digital e microscopia eletrónica de varrimento e comparação visual com a

amostra controlo. O padrão de dispersão manteve-se inalterado durante esta fase, como se pode verificar na figura 40. Para esta amostra também foram criadas as máscaras para identificação e localização das partículas como se pode observar nas imagens constantes no Anexo 6.

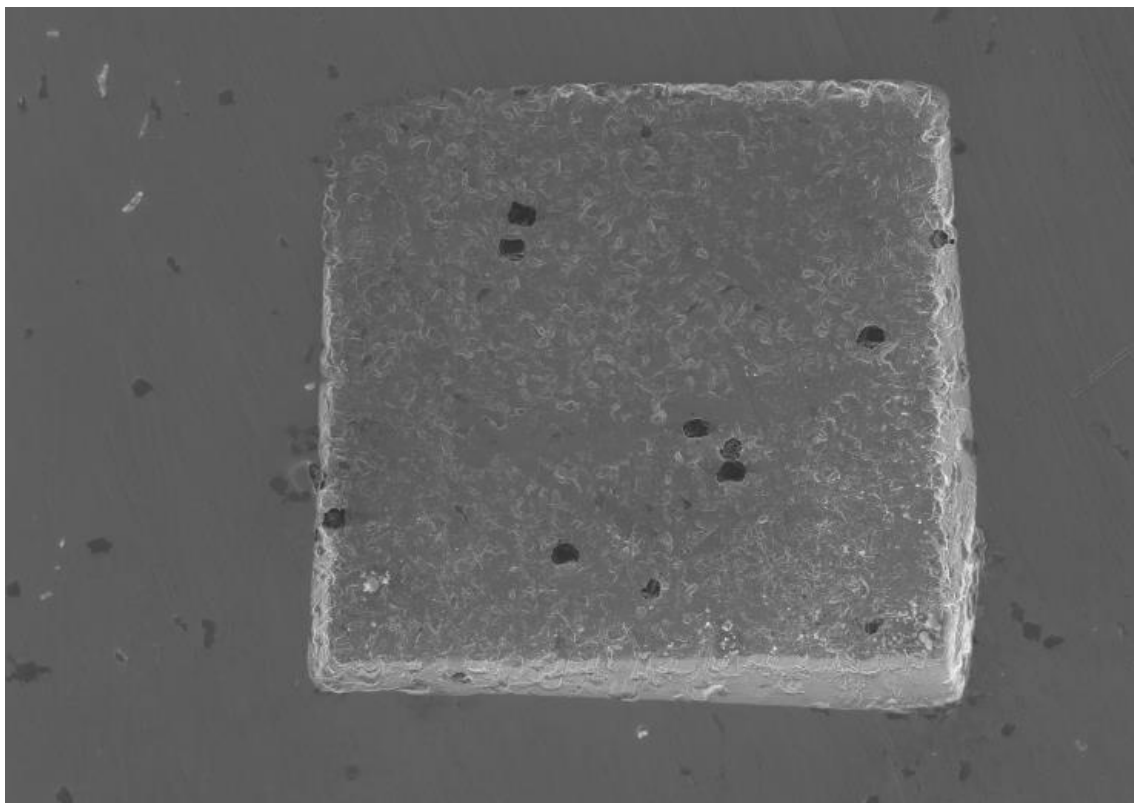


Figura 40 – Imagem do padrão de dispersão da amostra em exposição natural, obtida pelo MEV no dia 05.11.2020 com ampliação de 75x

#### **5.1.4. Ultrassons**

Esta técnica é utilizada para a limpeza de moedas antigas e outras peças de joalharia. Uma vez que as vibrações exercem uma ação mecânica muito intensa, centenas de bolhas de cavitação implodem contra a superfície do metal e fazem com que as partículas presas ou incrustadas no metal se desprendam sem nenhum tipo de abrasão. Para este tipo de limpezas utiliza-se apenas água ultrapura, pois as vibrações ultrassónicas produzem calor e qualquer solução química sofreria uma evaporação em tempos prolongados de ensaio (Fuchs, 2015). Com base nestes princípios, o objetivo deste teste foi averiguar se as partículas de diamantes se desprendem do metal por vibrações de alta frequência.

Depois de efetuado o primeiro ciclo de 30 minutos, não foram detetadas alterações no padrão de dispersão das partículas de diamante, tendo sido observada apenas uma aparência muito mais brilhante na prata e a perda de 0,001g de massa, o que significa que esta peça foi limpa pelos ultrassons. Este mesmo aspeto de brilho e limpeza permaneceu depois do segundo ciclo sem alterações na massa e no padrão de dispersão (figura 41).

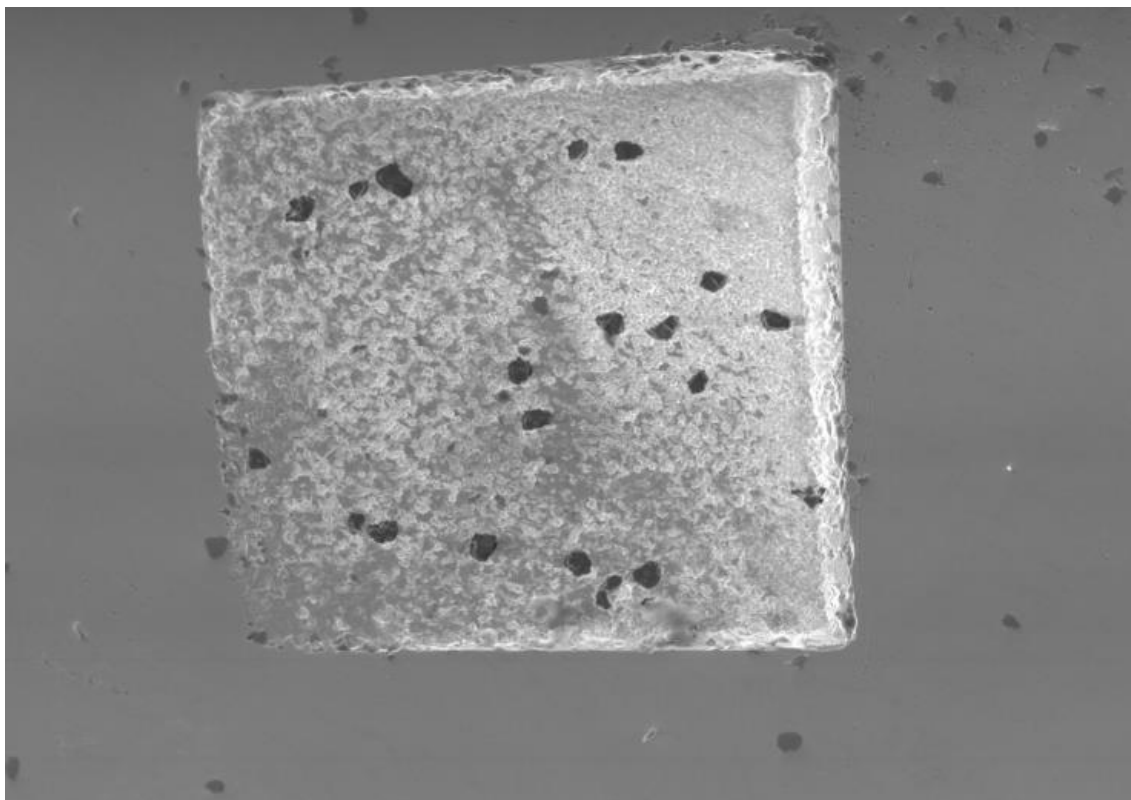


Figura 41 - Imagem da amostra submetida aos ultrassons, obtida pelo MEV no dia 05.11.2020 com ampliação de 75x

#### **5.1.5. Abrasão**

Neste teste foram efetuados 10 ciclos. Cada ciclo de 5 horas foi realizado no equipamento de abrasão com as condições previstas na norma EN 12472:2005 e A1 2009. Houve perda não significativa da massa (0,002g), importando ressaltar que de acordo com a norma, cada ciclo equivale a 2 anos de desgaste por uso, ou seja, o ensaio efetuado conforme a norma seria equivalente a 20 anos de desgaste por uso. Por sua vez, os ciclos complementares efetuados em alteração à norma também acrescentam anos de desgaste à amostra, apesar de ser impossível estimar quantos, por não haver normas que possam comprovar este teste com o uso de pedras e areia. Entretanto, mesmo com esta projeção

de desgaste ao longo do tempo, representado na figura 42, o padrão não sofreu alterações e as suas partículas continuaram intactas como no início do processo.

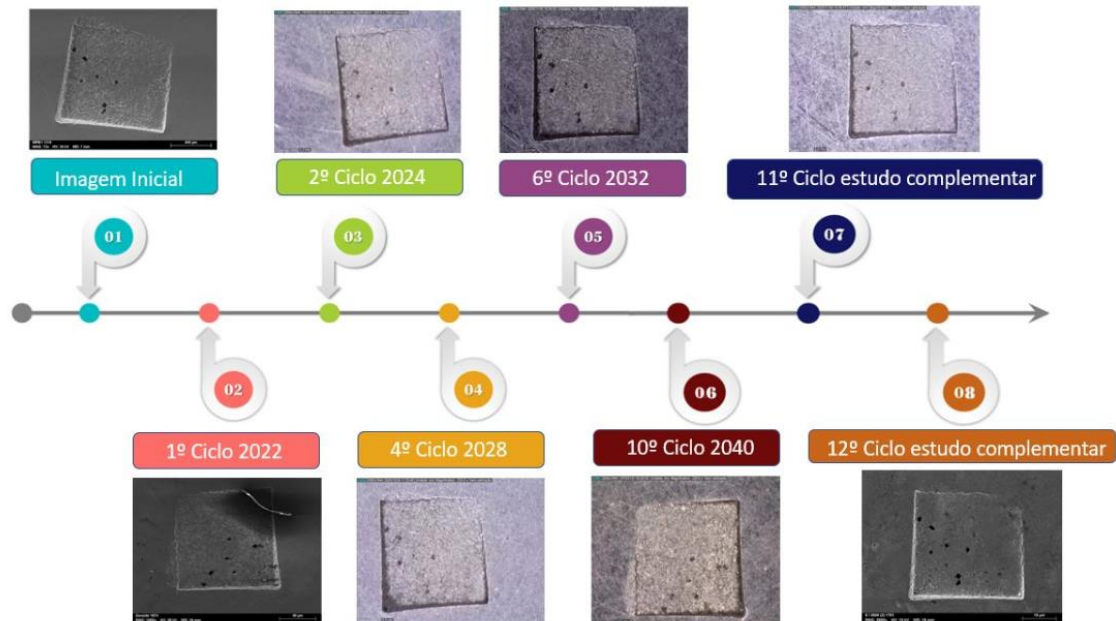


Figura 42 - Linha do tempo efetuada após os ciclos de abrasão

Enquanto o aspeto da medalha de prata sofreu algumas alterações visuais, como alguns riscos e o desaparecimento total de brilho, na figura 43 capturada pelo microscópio eletrónico de varrimento pode-se observar que não houve perda de partículas que pudesse afetar o padrão de dispersão.

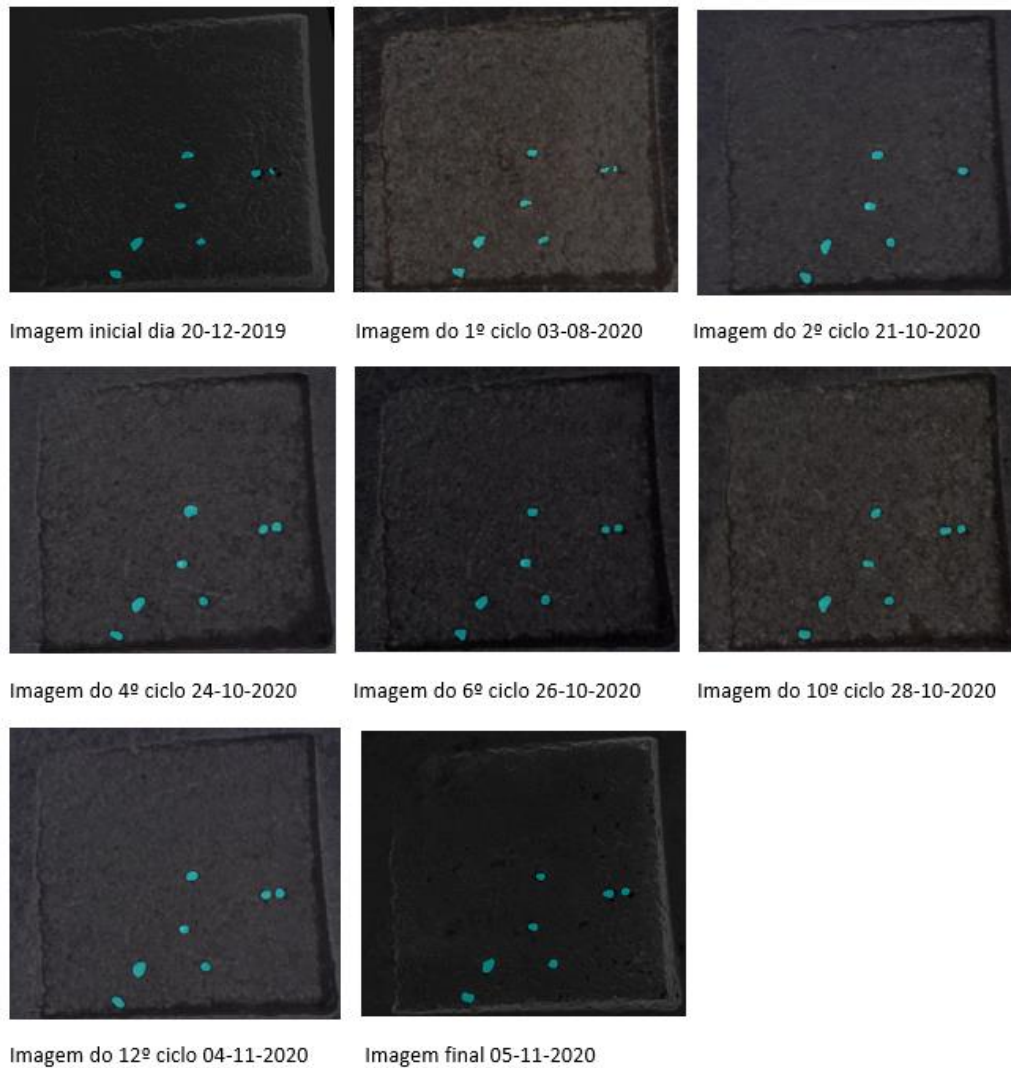


Figura 43 - Resultado dos ciclos de abrasão

Através do programa computacional desenvolvido pelo Instituto de Sistemas e Robótica da Universidade de Coimbra para a identificação da localização e formato das partículas para posterior inserção na base de dados, é possível, como se vê na figura 44, identificar que não houve alterações no padrão ao longo do tempo.

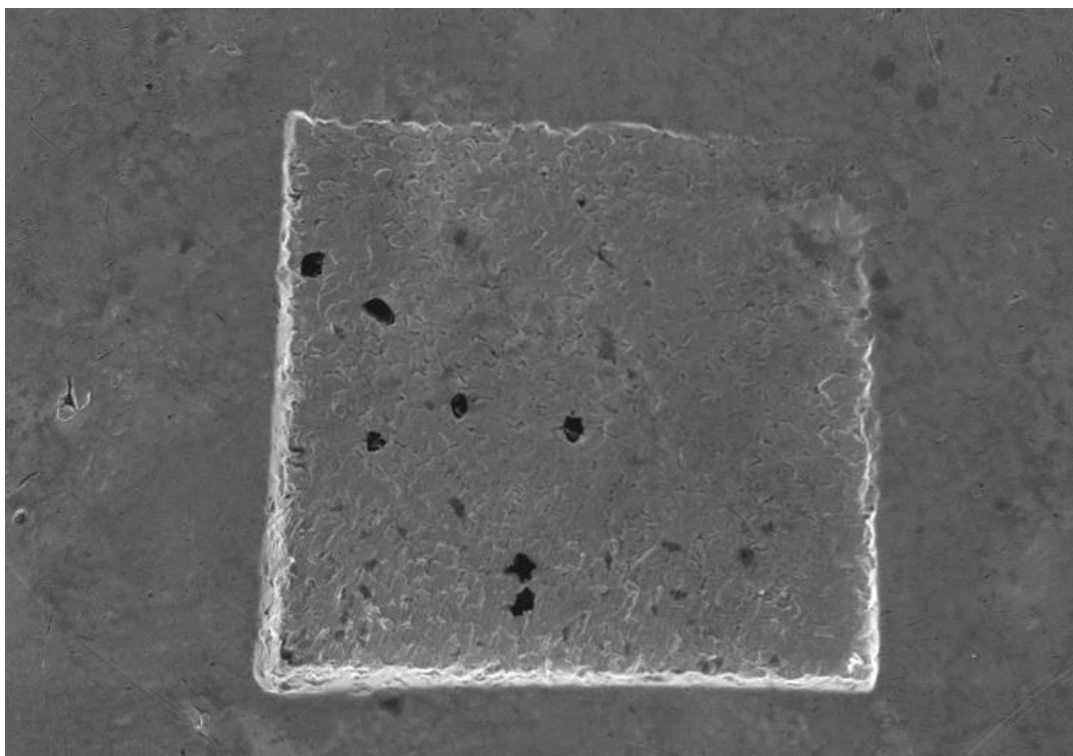


Figura 44 - Imagem da amostra submetida ao teste de abrasão, obtida pelo MEV no dia 05.11.2020 com ampliação de 75x

No caso desta amostra utilizada no teste de abrasão, ao longo dos testes que representam o total de 20 anos de desgaste por uso, é possível observar através da máscara criada pelo programa, que não houve alterações no padrão de dispersão.

#### **5.1.6. Exposição aos químicos**

A exposição das amostras aos químicos é um fator de grande importância neste estudo, uma vez que o contacto entre os químicos e a amostra pode provocar alterações no metal ou deformar o padrão de dispersão por corrosão ou oxidação. Todas as amostras foram expostas a químicos diferentes por 15 minutos sem se observar qualquer alteração no aspeto visual ou no padrão de dispersão. As mesmas amostras voltaram a ser imersas, cada uma no seu respetivo químico por 60 minutos. Nas observações e imagens obtidas no microscópio digital, não se observou nenhuma alteração no aspeto visual do metal e o padrão de dispersão continua intacto.

Duas destas amostras, designadamente as amostras (F) utilizada com Fuel B, representada no anexo 7, e a amostra (G) utilizada em  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , representada no Anexo 8, foram



reutilizadas para o teste com a solução ácida e alcalina durante 24 horas. Mesmo após esta exposição prolongada, sob o efeito das soluções, os resultados obtidos mostram que não houve perda de massa, nem se observa qualquer alteração no aspeto visual da amostra. Através da captação de imagens com o microscópio digital, pode-se constatar a integridade do padrão de dispersão, como se pode observar na figura 45.

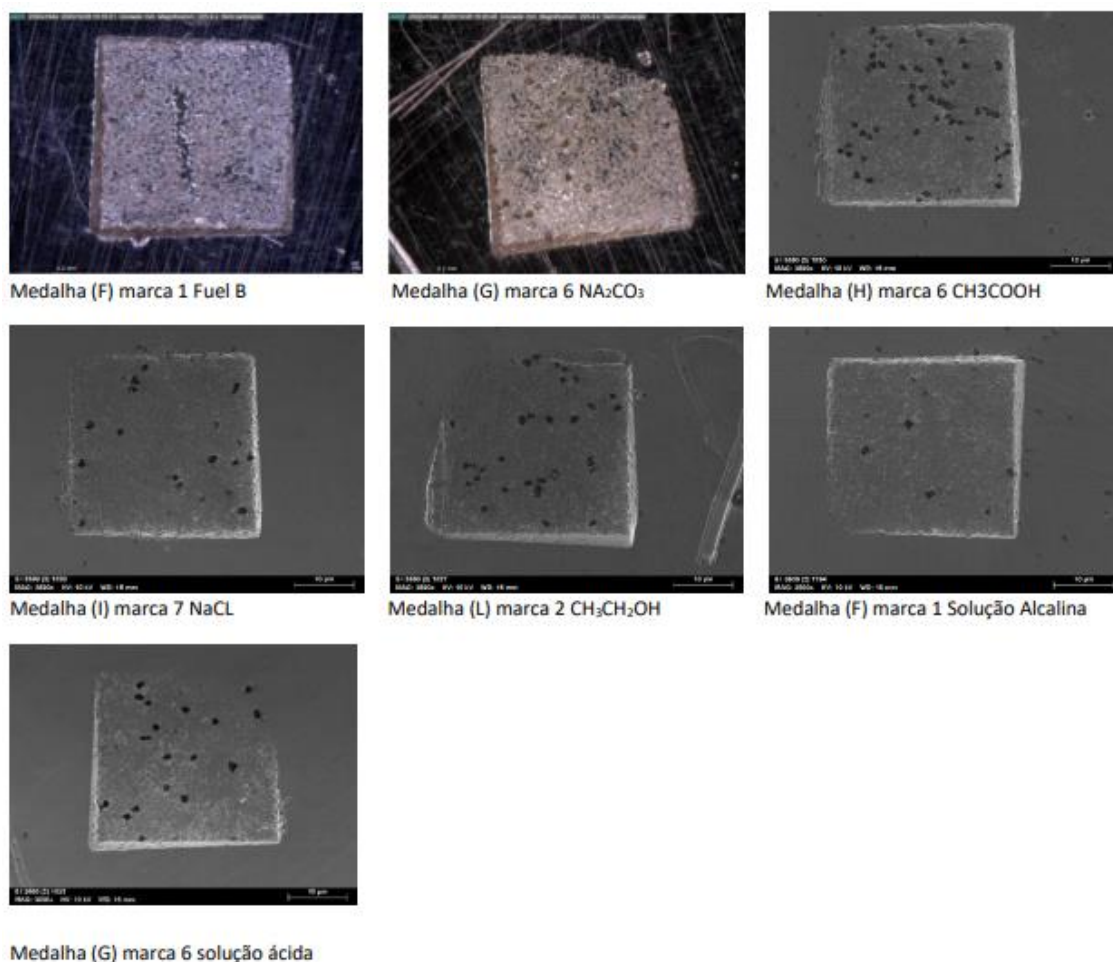


Figura 45 – Imagem das amostras expostas aos químicos sem alterações.

### 5.1.7. Câmaras climáticas resistência ao frio e calor

Após a realização do teste de resistência a temperaturas extremas, em que a amostra é exposta à temperatura negativa de  $-33^\circ\text{C}$  durante 15 minutos e logo de seguida é trocada para outra câmara climática, onde por sua vez a temperatura é de  $77^\circ\text{C}$ , estas temperaturas opostas fazem com que o metal contraia e dilate, podendo ocorrer um efeito de abertura da cavidade onde se encontram incrustadas as partículas de diamante e consequentemente poderia ocorrer a queda das partículas. No entanto, em comparação com a primeira

imagem capturada da amostra, o padrão continua intacto, como se pode observar na figura 46, sem perda de partículas e sem perda de massa da amostra.

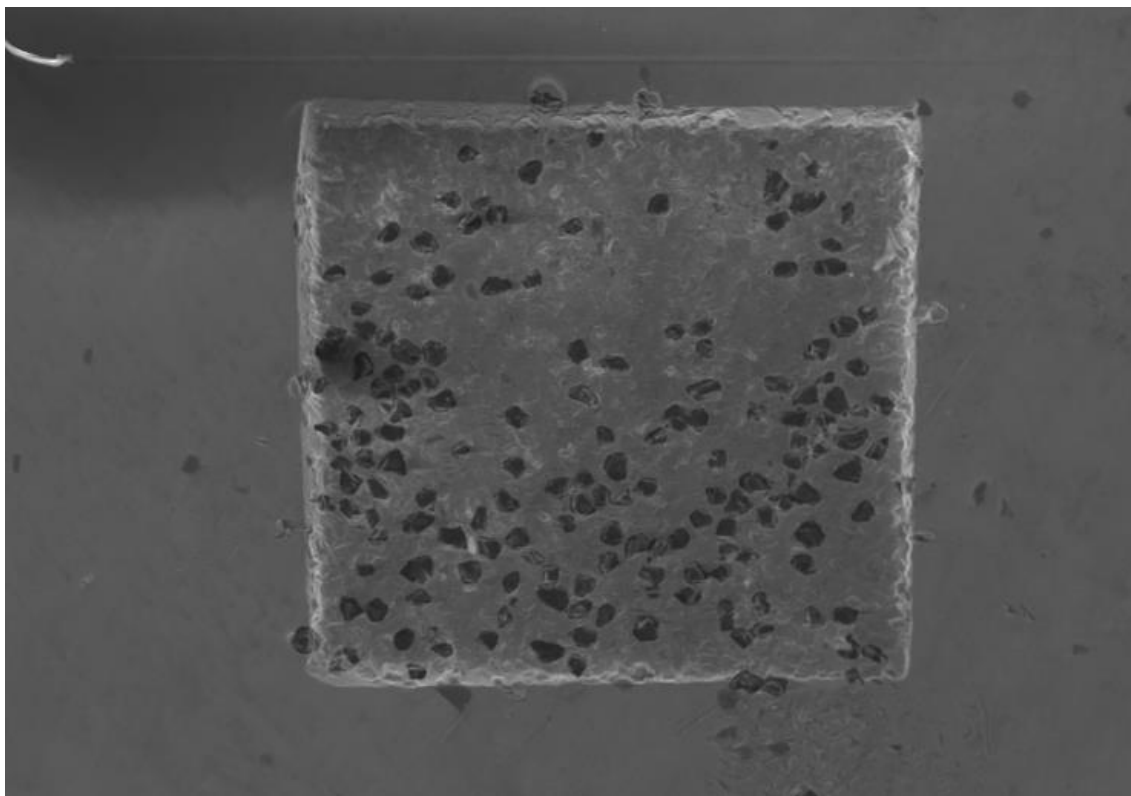


Figura 46 - Imagem da amostra submetida ao teste de temperaturas extremas, obtida pelo MEV no dia 05.11.2020 com ampliação de 75x

Relativamente à pesquisa efetuada aos métodos de identificação de vítimas de desastre em massa, constatou-se que recentemente uma pesquisadora escocesa tornou-se a primeira especialista em joalheria forense, utilizando todo o potencial das joias e metais para identificar vítimas de desastre em massa, sendo que a sua abordagem incide maioritariamente nos processos e perspetivas de design. Sob esta interpretação do potencial de utilização da joalheria no contexto forense, esta técnica é solicitada com uma certa frequência para auxiliar na identificação de vítimas em desastres em massa (MacLennan, 2018). Apesar de ter uma abordagem investigativa diferente da que oferece a marca UniqueMark®, a existência de uma linha de investigação forense na área da joalheria, vem reforçar o potencial da marca por dispersão de diamantes na identificação humana, por ser uma forma não só pelo simples fato de que familiares possam



reconhecer o objeto, mas que este também contenha no seu padrão a identidade da vítima, tão valiosa quanto uma impressão digital ou um documento de identificação.



## **6. Conclusão e perspetivas futuras**

O presente trabalho tinha como objetivo a elaboração de uma metodologia analítica forense para as marcas UniqueMark®, no intuito de determinar a durabilidade e estabilidade da incrustação das partículas de diamante no metal. A marcação com dispersão de partículas de diamante sob o punção só seria viável para utilização em marcações de objetos valiosos, caso o seu padrão fosse estável. A determinação da durabilidade é de extrema necessidade para que se justifiquem os passos seguintes, como a criação de um programa de reconhecimento e de uma base de dados que possa ser consultada por um longo período. A identificação de problemas na estabilidade do padrão por perda de partículas ou outras anomalias originadas pelo desgaste por uso diário, abrasão ou qualquer tipo de deformação do metal poderia ser um entrave na identificação e rastreabilidade de qualquer peça marcada.

No entanto, as análises permitiram observar o comportamento do padrão de dispersão das partículas de diamante perante a realização de ensaios que levaram as amostras a condições de esforço elevado. Os resultados mostram que cada uma das marcas analisadas manteve-se inalterada após a realização dos testes, sendo que no teste de abrasão, conforme indicado nas normas da EU, o padrão resiste a mais de 20 anos de uso diário, sem qualquer alteração significativa, pelo que a duração das marcas pode ser, na verdade, muito superior a este intervalo de tempo.

A marcação com a tecnologia UniqueMark® parece assim ter um elevado potencial para utilização forense, uma vez que foi possível obter resultados com parecer positivo para a estabilidade do padrão de dispersão e, consequentemente, poderá vir a ser uma técnica bastante utilizada na área da segurança, no combate à falsificação ou como técnica secundária de identificação de vítimas.

Do ponto de vista de direções futuras apontadas pelos resultados deste trabalho, podemos destacar o prolongamento dos testes de desgaste, para que se possa recolher mais dados relativamente à durabilidade da marca UniqueMark® quando exposta aos interferentes ensaiados. Outros estudos podem ainda ser efetuados para ampliar o conhecimento sobre a resistência da marca em outros metais utilizados no fabrico de objetos como joias, relógios, próteses ou outros itens que necessitem de um elemento de segurança único ou complementar. Uma sugestão de teste que poderia vir a ser efetuado no futuro, é o da

resistência dos metais e das marcas a temperaturas alcançadas em incêndios, que se aproximam muito do ponto de fusão de alguns metais ou ainda qual a quantidade e intensidade dos polimentos efetuados em ourivesarias que pode ser suportado pelas marcas UniqueMark® sem destruição das suas características únicas. Desta forma, poderá construir-se um padrão de análise ainda mais completo e eficaz para utilização futura.

## **Referências**

- Araujo, L., Biancalana, R., Tereda, A., Paranhos, L., Machado, C., Silva, R. (2013). *Human identification of victims of mass disasters: the importance and role of Forensic Dentistry*. RFO UPF. Vol 18 No 2, pp. 224-229.
- Carneiro, A., Andrade, L., Fraga, F., Duarte, M. (2015). Dental record for human identification purposes. *Perspetivas- Medicina legal e perícias médicas*.
- Carneiro, A., Andrade, L., Fraga, F., Duarte, M. (2017). Application of post mortem human identification methods, in the lmi estágio de lima, in the period of january 2011 to december 2015. *Perspetivas- Medicina legal e perícias médicas*. Vol 2, No 3.
- Coupry, C., & Brissaud, D. (1996). Applications in art, jewelry, and forensic science. *In Raman Microscopy*. pp. 421-453. Academic Press.
- Decreto Lei nº98/2015 de 2 de junho de 2015. *Diário da República n.º 106/2015, Série I*. Ministério das Finanças. Lisboa.
- Espinoza, C. (2014). *Inovação na criação de joias: uma reflexão sobre design, cultura e tecnologia* (Tese de Doutoramento).
- Fazenda, J. (1927). *Antiquilhas e memórias do Rio de Janeiro* Vol 95. Imprensa Nacional.
- Fuchs, F. (2015). Ultrasonic cleaning and washing of surfaces. In *Power ultrasonics*, pp. 577-609. Woodhead Publishing.
- Garcia, C. (2016). *Estudo da utilização da microscopia eletrónica de varrimento em materiais com aplicações emergentes em nanotecnologia - caso particular de filmes finos de ZnO para aplicação em sistemas fotovoltaicos* (Tese de Doutoramento).
- Goncalves, N., Cruz, L. (2019). *UniqueMark - A method to create and authenticate a unique mark*. Coimbra, Portugal.
- Houck, M. (2013). Forensic Applications of SEM.

- Inkson, B. (2016). Scanning electron microscopy (SEM) and transmission electron microscopy (TEM) for materials characterization. *Materials characterization using nondestructive evaluation (NDE) methods*, pp. 17-43.
- INTERPOL, (2018). *Disaster victim identification guide*.
- Kallek, M., Ataoglu, S., Yagci, Y., Bozkurt, H., & Gulluoglu, A. (2012). In the jewelry, brazing and laser welding with parameter optimization. *Archives of Metallurgy and Materials*, Vol 57, pp. 525-536.
- Khoo, L., Lai, P., Hasmi, A., & Mahmood, M. (2016). Secondary identifier for positive identification in DVI. *Forensic Science and Criminology*, Vol 1 No 1, pp. 1-3.
- Kochanovska, A. (2004). Physical Research Laboratory of the Central Directory of Metalindustries. *Investigation of thermal dilatation of cubic metals*, pp. 191-196.
- Krish, R., Fierrez, J., Ramos, D., Alonso-Fernandez, F., & Bigun, J. (2019). Improving automated latent fingerprint identification using extended minutia types. *Information Fusion*, Vol 50, pp. 9-19.
- Kulkarni, N., & Bakal, J. (2018). E-Health: IoT Based System and Correlation of Vital Stats in Identification of Mass Disaster Event. *2018 Fourth International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA)*, pp. 1-6. IEEE.
- LuxTag (2019). *Counterfeit Jewelry and Luxury Goods: How to Fight the “Fakes” Market*. Acedido em 10 de outubro de 2020. Disponível em <<https://www.luxtag.io/blog/counterfeit-jewelry-and-luxury-goods-how-to-fight-the-fakes-market/>>.
- MacLennan, M. (2018). *Forensic jewellery: a design-led approach to exploring jewellery in forensic human identification*. (Tese de Doutorado).
- Martinez, J. (2004). *Avaliação da resistência ao desgaste e à corrosão de moedas revestidas de cobre e bronze* (Tese de Doutorado).
- Mason, T. (2016). Ultrasonic cleaning: An historical perspective. *Ultrasonics sonochemistry*, Vol 29, pp. 519-523.
- McGreer, M. (2003). Weathering testing guidebook. *Atlas Material Testing Technology*. Florida, EUA.
- OECD E. (2019), Trends in Trade in Counterfeit and Pirated Goods, Illicit Trade, OECD Publishing, Paris/European Union Intellectual Property Office.

- Olivieri, L., Mazzarelli, D., Cappella, A., De Angelis, D., Piscitelli, V., & Cattaneo, C. (2017). The importance of “secondary methods” in the identification of the victims of the 3rd of October 2013 shipwreck. *La Revue de Médecine Légale*, Vol 8 No 4, pp. 190-191.
- Pittayapat, P., Jacobs, R., De Valck, E., Vandermeulen, D., & Willems, G. (2012). Forensic odontology in the disaster victim identification process. *The Journal of forensic odonto-stomatology*. Vol 30 No1, pp. 1.
- Purpura, P. (2019). Protecting Commercial and Institutional Critical Infrastructure. pp. 6-34.
- Vidal, M. (1996). *Marcas de Contrastes e Ourives Portugueses*. Lisboa: Imprensa Nacional Casa da Moeda.
- Weisbaum, H. (2016). *Glitters, but Not Gold: Fake Gold and Silver Coins 'Flooding' Market*. Acedido em 20 de outubro de 2020. Disponível em <<https://www.nbcnews.com/business/business-news/glitters-not-gold-fake-gold-silver-coins-flooding-market-n591201>>.
- Wolf, C. (2019). *Combating Trafficking in Counterfeit and Pirated Goods*. Homeland Security. EUA.

## **Anexos**

### **Anexo 1 - Espectro obtido no MEV para identificar os metais presentes na amostra**

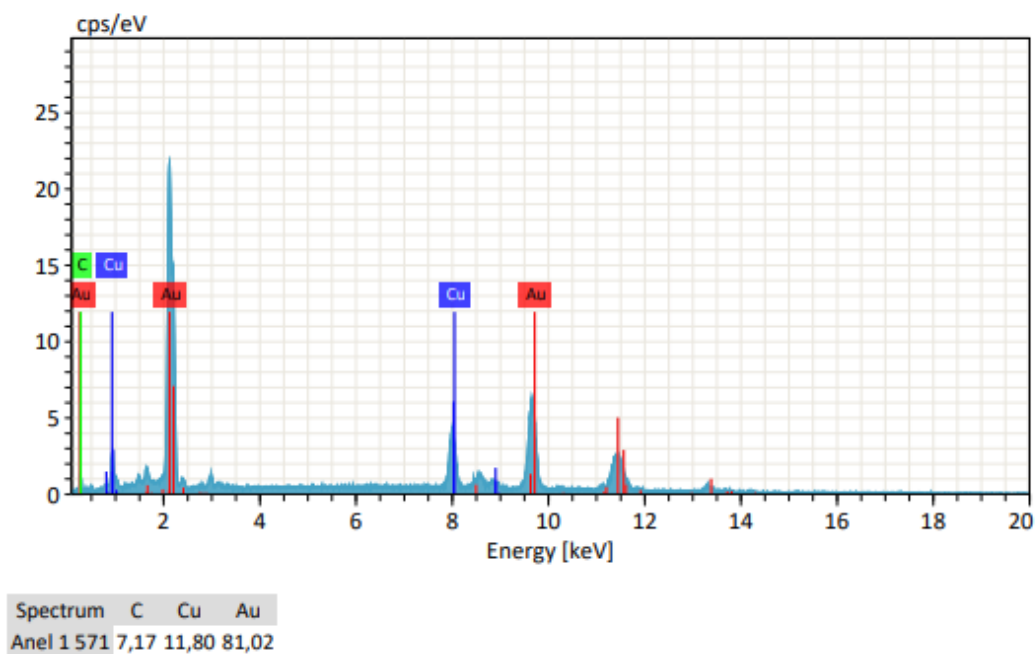


Figura 47 - Espectro obtido no MEV

### **Anexo 2 - Anel ouro 999 uso diário (amostra 1) original e máscaras**

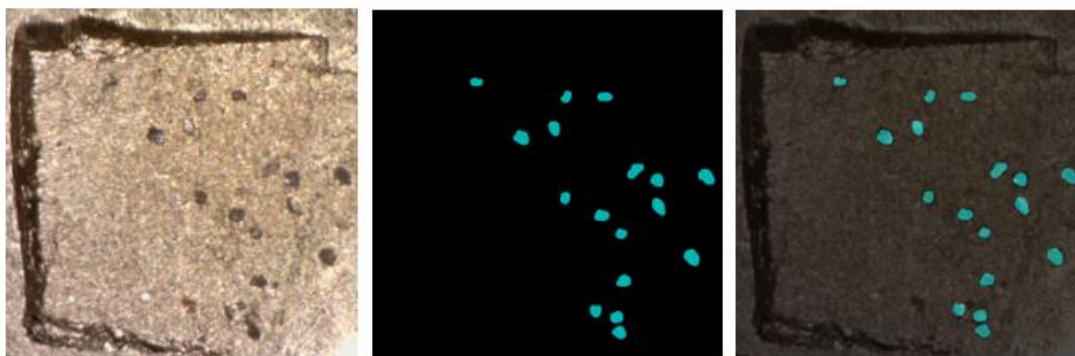


Figura 48 - Anel ouro 999 uso diário (amostra 1) original e máscaras



**Anexo 3 - Anel prata 925 uso diário (amostra 5) original e máscaras**

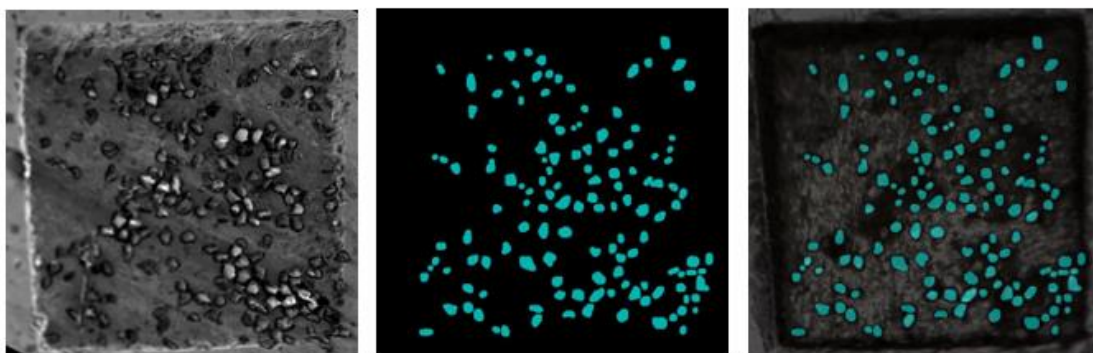


Figura 49 - Anel prata 925 uso diário (amostra 5) original e máscaras

**Anexo 4 - Medalha prata 800 uso diário (amostra 4) original e máscaras**

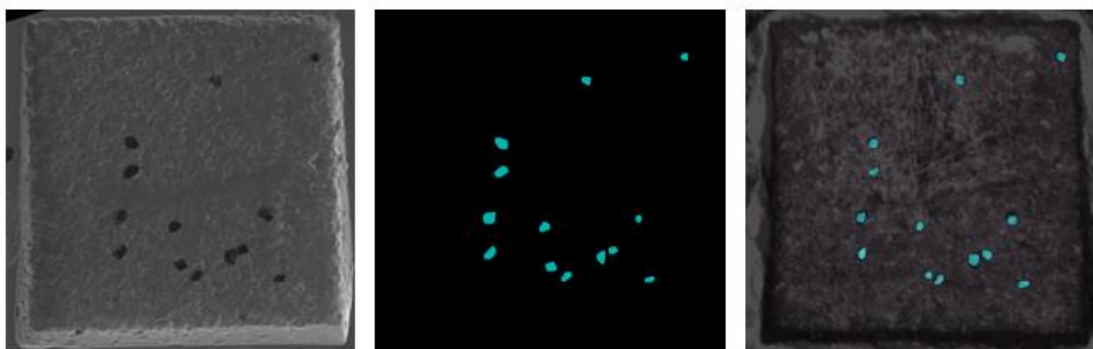


Figura 50 - Medalha prata 800 uso diário (amostra 4) original e máscaras

**Anexo 5 - Moeda corrente 2 euros uso diário (amostra 6) original e máscaras**

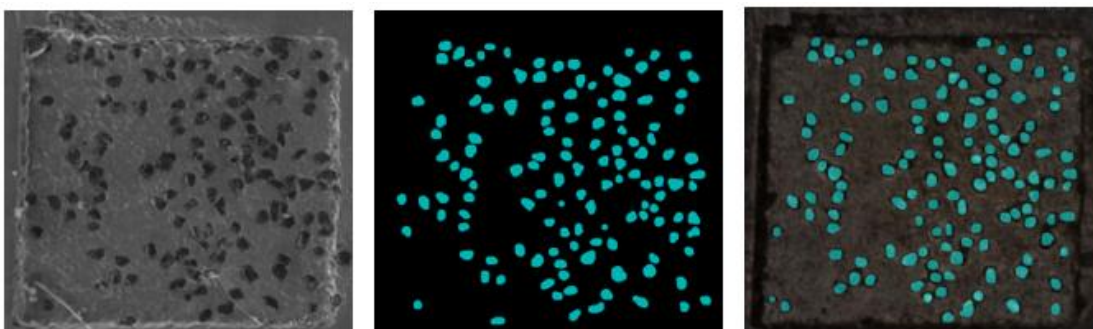


Figura 51 - Moeda corrente 2 euros uso diário (amostra 6) original e máscaras

### **Anexo 6 - Medalha prata 800 em exposição natural, original e máscaras**

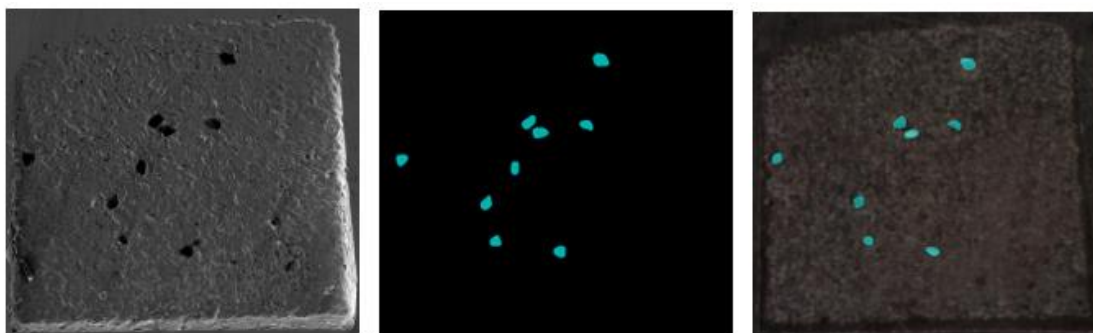


Figura 52 - Medalha prata 800 em exposição natural, original e máscaras

### **Anexo 7 - Medalha prata 800 em exposição aos químicos FUEL B e solução alcalina, original e máscaras**

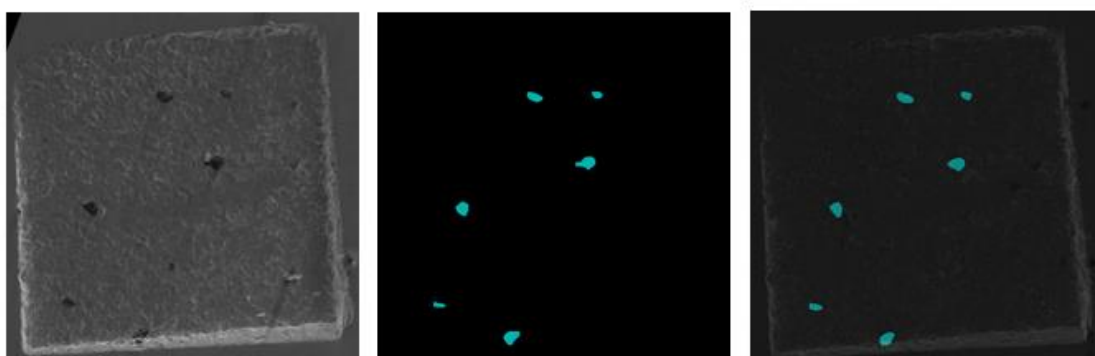


Figura 53 - Medalha prata 800 em exposição aos químicos

### **Anexo 8 - Medalha prata 800 em exposição aos químicos $\text{Na}_2\text{CO}_3$ e solução ácida, original e máscaras**

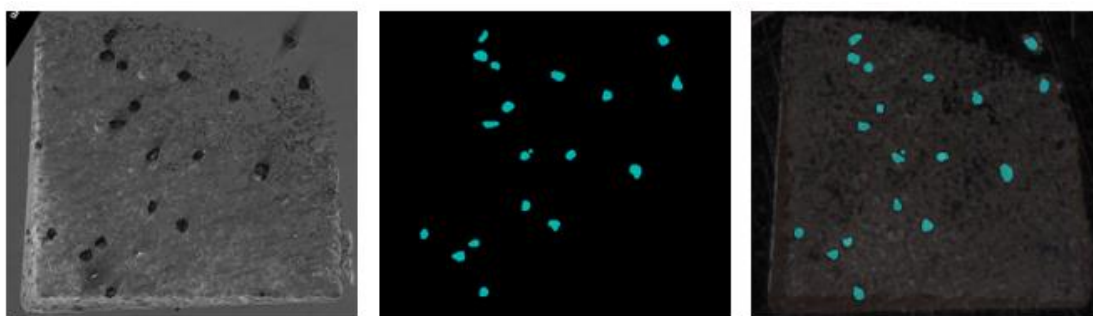


Figura 54 - Medalha prata 800 em exposição aos químicos  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  e solução ácida

